

Grupo manejo suelos
**A. Quiroga, R. Fernández,
M. Saks, I. Frasier,
C. Gaggioli, M. Louise,
D. Riestra, E. Noellemeyer**

EEA INTA Anguil y UNLPampa
Mail de contacto:
aquiroga@anguil.inta.gov.ar

Gestión del agua en producciones de secano en la Región Semiárida Pampeana

Las estrategias de manejo del agua en sistemas de producción de secano deben abordar problemáticas en la captación, almacenaje, conservación y eficiencia de uso; resultando necesario un mejor conocimiento sobre la dinámica de las napas y la relación transpiración/evaporación, la eficiencia de almacenaje y la eficiencia de uso del agua pluvial, y la gestión planificada de efluentes de los planteos ganaderos.

Palabras Claves:

agua, eficiencia, semiárido, secano, precipitaciones, captación, almacenaje, usos consuntivos, napa, agricultura, ganadería, rotación, cultivo de cobertura, rendimiento.

Introducción

La discusión acerca de los procesos de cambio global actualmente se enfoca casi exclusivamente en los problemas relacionados con los incrementos del CO₂ atmosférico y el calentamiento global. Sin embargo, la creciente escasez de agua en el planeta es un fenómeno del cambio global igualmente o más preocupante. Estos procesos tienen amplias implicancias para la sociedad y para las ciencias; pero una de las cuestiones centrales es, como siempre, el reto de producir suficientes cantidades de alimento para la población con recursos hídricos cada vez más limitados. Estas problemáticas requieren una nueva agenda técnica y científica, orientada a incrementar la eficiencia de uso de agua en la producción agrícola (Wallace, 2000).

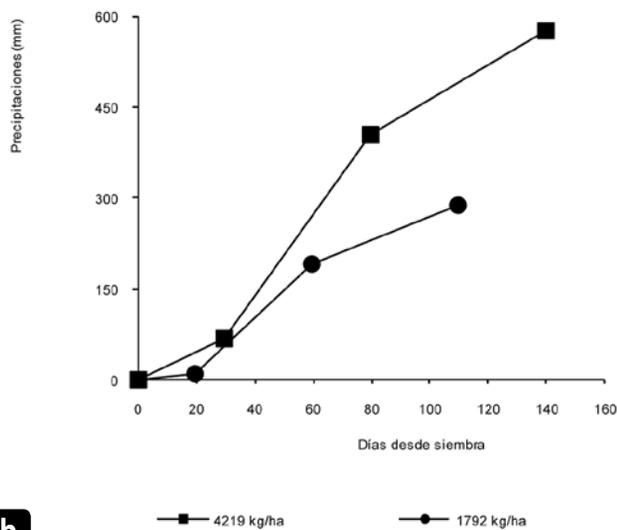
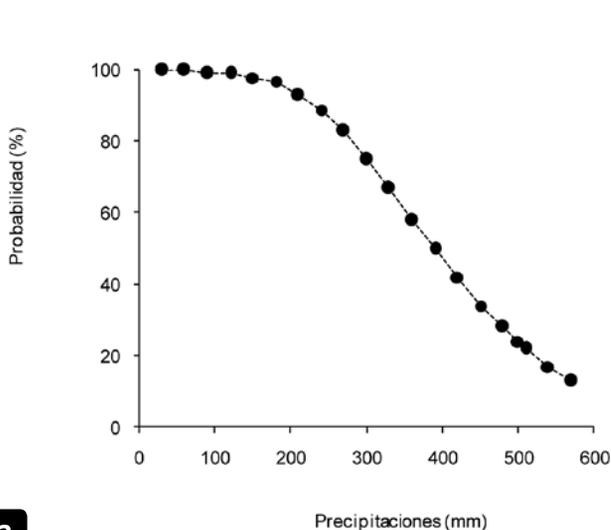
En general la investigación en gestión del agua se ha orientado al desarrollo de practicas para mejorar la eficiencia de uso en sistemas irrigados (Ayars et al, 2006) y en la sistematización de cuencas y pendientes para mejorar la captación en áreas afectadas por procesos de erosión hídrica. En relación con la eficiencia de almacenaje, Fernández et al. (2008) comprobaron que si bien la cobertura afecta la eficiencia, la misma resulta dependiente de la capacidad de retención de agua de los suelos (composición granulométrica y espesor) y consecuentemente varia con la profundidad efectiva de las raíces. Las cuales además pueden extraer proporciones significativas de agua de la napa freática (Ayars et al., 1999). En la mayor parte del área productiva de Argentina se comprueba que las precipitaciones

durante el ciclo de los cultivos no cubren los requerimientos de uso consuntivo de los mismos siendo la evaporación el principal factor de pérdida de agua. Al respecto se estima que entre el 50 y 75 % de la precipitación anual puede retornar a la atmósfera sin intervenir en el proceso productivo (Bennie y Hensley 2000).

Por otra parte la pradera pampeana está experimentando un intenso proceso de agriculturización con cambios estructurales y funcionales mayores en la cubierta vegetal (Viglizzo et al., 2001). Dentro de estos cambios, las relaciones entre el uso de la tierra y su hidrología han sido poco estudiadas (Jobbagy y Santoni, 2006). Estudios recientes (Viglizzo et al., 2009) muestran que la dinámica hidrológica puede ser afectada tanto por la hidrogeología de la región como por el uso de la tierra. Por lo expuesto, las estrategias de manejo del agua en sistemas de producción de secano deben necesariamente abordar problemáticas en la captación, almacenaje, conservación y eficiencia de uso, resultando necesario: a) un mejor conocimiento sobre la dinámica de las napas, principalmente en cuanto a su variación estacional, contribución al uso consuntivo y nutrición de los cultivos que posibilite incorporarla en los métodos diagnósticos y elaborar estrategias a distintas escalas, desde sitio – específico (producción) hasta ecorregión (legislación); b) un mejor conocimiento sobre los factores que gobiernan la relación transpiración/evaporación, la eficiencia de almacenaje (interfase suelo-atmósfera) y la eficiencia de uso del agua pluvial, resultando en este punto clave la identificación de las mejores combinaciones genotipo/

Figura 01

(a) Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones de octubre a febrero para Anguil (1921–2005).
 (b) Uso consuntivo, ciclo y rendimiento para un híbrido de girasol con (círculos) y sin (cuadrados) limitaciones hídricas; los valores en la figura representan los rendimientos alcanzados en cada caso.



ambiente/manejo para una producción más eficiente, y c) la gestión planificada de efluentes emergentes de la intensificación de los planteos ganaderos (carne y leche), potenciales contaminantes pero también fuente alternativa de nutrientes.

A fin de ilustrar sobre los aspectos mencionados, se presentan a continuación resultados de estudios conducidos en Molisoles y Entisoles de la región semiárida pampeana.

Tabla 01

Capacidad de retención de agua (mm) en función del espesor de suelo y del contenido de arcilla más limo. Mayor número de X indica mayor aptitud (la condición física de los suelos de textura más fina puede limitar el cultivo).

Espesor (m)	Arcilla + Limo (%)				
	20	30	40	50	60
0,4	X	X	X	X	X
0,8	X	XX	XX	XX	XXX
1,2	XX	XXX	XXX	XXXX	XXXX
1,6	XXX	XXXX	XXXX	XXXXX	XXXXX
2	XXXX	XXXX	XXXXX	XXXXX	XXXXX

Probabilidad de precipitaciones, usos consuntivos y rendimientos

Cuando se analiza la gestión del agua en un sistema de producción es conveniente considerar la rotación de cultivos como una secuencia de usos consuntivos que se suceden en el tiempo en un mismo potrero. Durante el ciclo de cada cultivo resulta necesario considerar también cual es la probabilidad de que las precipitaciones cubran los requerimientos hídricos del mismo. En tercera instancia es necesario evaluar si la diferencia entre las precipitaciones (oferta) y los requerimientos del cultivo (demanda) puede ser cubierta con el agua almacenada en el suelo en periodos previos a la siembra (barbecho). Esto dependerá entre otros factores de la capacidad de retención de agua del suelo (textura y espesor del mismo), y también de la profundidad efectiva de las raíces (PER) del cultivo en cuestión. De este primer análisis, surge una idea bastante aproximada sobre la viabilidad del sistema de producción implementado por el productor. Por ejemplo, teniendo en cuenta que los requerimientos de agua durante todo el ciclo del cultivo de girasol en la localidad de Anguil varían entre 420 y 450 mm, para el período octubre-febrero, la probabilidad de que las precipitaciones cubran este requerimiento es inferior al 40% (Figura 1a). Para satisfacer los requerimientos del girasol

con una probabilidad del 70%, el contenido de agua útil en el suelo a la siembra debería ser superior a 150 mm. En la medida que esto no sucede los rendimientos se verán condicionados por la disponibilidad de agua (Figura 1b). Similares resultados se comprobaron en distintos cultivos integrantes de la rotación: Trigo, verdeo de invierno, soja, maíz. En este último se comprobó que la variación del rendimiento se relacionó con el agua almacenada a la siembra y ésta con la cantidad de residuos en superficie durante el barbecho ($r=0,85$).

La cobertura con residuos del suelo es uno de los principales factores que regula la dinámica hídrica en la interfase suelo-atmósfera. Prasad y Power (1991) mostraron que la cobertura del suelo tiende a optimizar la relación transpiración/evaporación, reduciendo las pérdidas por evaporación e incrementando la eficiencia de uso del agua. Sin embargo, el espesor de suelos y/o la PER condiciona la eficiencia de los barbechos y los efectos de la cobertura (Fernández, 2007). Fontana et al. (2006) comprobaron además que el rendimiento de trigo, para un mismo nivel de cobertura, varió no sólo con el espesor de suelo sino también con la textura. Estos autores determinaron que en perfiles del mismo espesor y cobertura de rastrojo el rendimiento de trigo fue mayor en aquellos de granulometrías más finas. Sobre la base de lo expuesto en la Tabla 1, se presenta una clasificación utilitaria de perfiles de suelos en base a la composición granulométrica y el espesor. Ambos parámetros son los principales condicionantes de la capacidad de retención de agua, y como se expuso anteriormente, de la eficiencia de los barbechos y la producción de los cultivos en la región semiárida pampeana.

Eficiencia en el uso del agua

Numerosos estudios señalaron la influencia de distintos parámetros físicos del suelo sobre la dinámica del agua y/o el desarrollo de las raíces al condicionar la eficiencia de captación, almacenaje y uso de agua y nutrientes por parte de los cultivos. El desarrollo del sistema radical es uno de los factores más importantes en la captación y eficiencia de uso del agua al incidir sobre la relación transpiración/evaporación (Amir et al., 1991).

Por ejemplo, se ha comprobado que valores de resistencia a la penetración (RP) > 2 MPa dieron lugar a una reducción significativa en el desarrollo de raíces (Atwell, 1993) y la concentración de nitrógeno y potasio en hoja (Atwell, 1990). Sin embargo, también se ha comprobado que suelos bien estructurados o con presencia de biocanales no limitaron el desarrollo de las raíces a pesar de presentar altos valores de RP (Lampurlanes y Cantero-Martinez, 2003). Fernández (2007) ha comprobado que la RP varía en función de la humedad del suelo, aunque la relación RP/humedad resulta dependiente de la textura,

dado que al variar el contenido de agua por efecto de los residuos los valores de RP varían muy poco en suelos arenoso franco mientras que los cambios son importantes en suelos franco arenoso.

Además de las diferencias en la PER, se ha comprobado que la eficiencia de uso del agua evapotranspirada para la producción de grano (EUAG) puede ser similar entre materiales, mientras que distinta a la eficiencia en la producción de biomasa aérea total (EUAB). Estas diferencias relacionadas con el índice de cosecha resultan particularmente relevantes en regiones semiáridas, donde la gestión del agua y sustentabilidad de los sistemas de producción resultan dependientes del aporte de residuos. Este aspecto es claro en el caso de sorgo donde los rangos de EUAB variaron desde 28 a 55 kg ha⁻¹ mm⁻¹ y los de EUAG entre 18,8 y 25,9 kg ha⁻¹ mm⁻¹.

Otro aspecto del manejo con influencias significativas sobre la EUA lo constituye la disponibilidad de nutrientes, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P) en suelos de la región semiárida pampeana. Como ejemplo se muestran resultados de evaluaciones realizadas en cebada cervecera (Quiroga et al., 2005) donde el aporte de la fertilización nitrogenada (con corrección de P en sitios con menos de 10 ppm) incrementó significativamente la EUAG.

Además de la respuesta positiva en la EUA debido a la fertilización, se comprobó interacción significativa entre N y P. En el cultivo de rye grass se determinó que no hubo efecto de

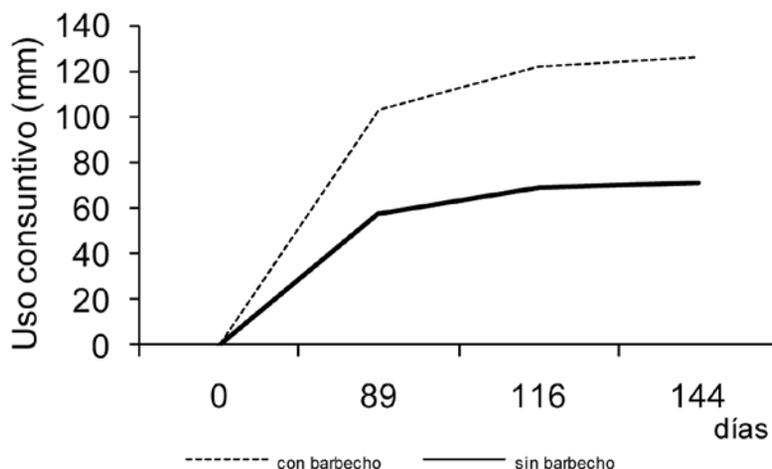
P si no se aplicaba N, que las dos dosis de P (20 y 40) difirieron de la dosis del testigo sin fertilizar cuando se aplicó N (40 kg ha⁻¹), y todas las dosis de P difirieron entre sí ($p < 0,001$) cuando se aplicó N (80 kg ha⁻¹). Similar comportamiento se registró con N, resultando la respuesta dependiente de la fertilización fosforada. La EUA se incrementó significativamente desde 10,6 kg ha⁻¹ mm⁻¹ de materia seca para el testigo hasta 21,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para el tratamiento de máxima fertilización.

Durante el año 2009 se realizaron en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Anguil "Guillermo Covas" estudios tendientes a cuantificar los efectos del manejo del agua (barbecho) y la fertilización sobre la EUA para la producción de biomasa aérea de centeno. El manejo previo del agua a la siembra permitió transferir 66 mm de agua al ciclo del verdeo (Figura 2) e incrementar sustancialmente la producción de materia seca, respecto de la situación control (sin barbecho) registrándose un rango de variación en la EUA de 25 a 6 kg ha⁻¹ mm⁻¹ para los tratamientos con y sin barbecho. Estos resultados permiten inferir sobre el costo hídrico en producciones ganaderas, el cual frente al mismo régimen de precipitaciones y por influencia del manejo varió entre 6000 y 24000 lts de agua por kg de carne producida.

Estos resultados permiten inferir sobre la pérdida de EUA para la producción de forraje y de carne, debido a que los suelos de mayor fertilidad han sido asignados a la agricultura y los de menor fertilidad a la ganadería.

Figura 02

Uso consuntivo para cuatro fechas de muestreo (0, 89, 116 y 144 días). Adaptado Frasier et al. (2010).



Indicadores de EUA

Otro enfoque sobre la productividad de los cultivos y su EUA, es considerar el valor económico de la producción en vez de solamente comparar los rendimientos.

Nielsen et al. (2005), compararon diferentes sistemas de producción de las llanuras centrales de EEUU, concluyendo que la intensificación de la producción resulta beneficiosa cuando se tiene en cuenta el valor de los productos. Aplicando esta metodología, se ha encontrado que en los sistemas de producción agrícola de la 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.

Varios autores señalan la necesidad de aumentar la *productividad económica del agua (PEA)*, definida como el valor recibido por unidad de agua usada (\$/mm), especialmente en áreas donde el recurso agua es escaso (Aldaya et al., 2009; Molden et al., 2009; Ali y Talukder, 2008). Este objetivo puede lograrse ya sea por un incremento en la *productividad física del agua* que lleve a producir más kg de grano/mm como por la producción de cultivos de más elevado valor.

En la EEA INTA Anguil, La Pampa, se están llevando a cabo ensayos en los que se evalúa el comportamiento de distintos cultivos y cultivares, tanto tradicionales como alternativos, con el objetivo de identificar aquellos que brindan mejor PEA.

En la Tabla 2 se presenta la EUA y PEA para la campaña 2011, de algunos de los cultivares e híbridos de cebada, trigo (calidad industrial 1 y 3), cártamo y colza, en un suelo de textura franca con tosca a 1-1,2 m.

Tabla 02
Eficiencias físicas y económicas en el uso del agua.

CULTIVO	EUA (kg/mm)	PEA (\$/mm)
cebada	14,0 a	11,24 a
colza invernal	4,5 e	9,7 b
cártamo	5,6 d	8,76 bc
trigo grupo 3	13,0 ab	7,71 cde
trigo grupo 1	10,7 c	6,73 e

Si bien estos estudios son preliminares, los mismos serán continuados durante los próximos años para evaluar alternativas en cultivos de invierno y de verano, en suelos de zonas marginales con limitaciones para la producción de granos.

Cultivos de cobertura

La inclusión de cereales de invierno y leguminosas anuales durante el largo periodo de barbecho que media entre dos cultivos de verano destinados a cosecha, constituye una posibilidad de incrementar la cobertura de los suelo y reducir las pérdidas de materia orgánica con consecuencias principales sobre el sistema poroso. Principalmente sobre la macroporosidad (cantidad, orientación, estabilidad) la cual superado niveles críticos (menos 10% de macroporos mayores a 100 μ m) puede condicionar de manera importante la captación del agua pluvial.

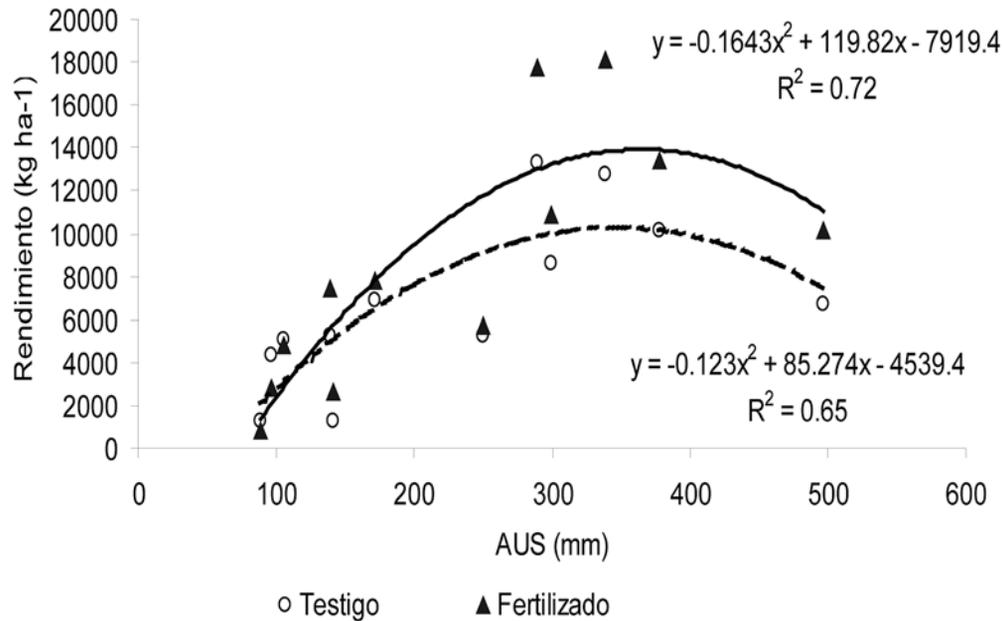
Eiza et al. (2010) evaluaron los efectos del uso de cultivos de cobertura sobre la producción de materia seca y la EUA en sistemas de cultivo de soja continua bajo siembra directa en Hapludoles. La experiencia fue realizada durante tres años evaluando la inclusión de centeno, avena, rye grass. El centeno mostró una mayor EUA que la avena con valores de 40,7 vs. 27,5 kg ha⁻¹ mm⁻¹ y 30,5 vs. 22,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹ respectivamente durante los años 2008 y 2009. La incorporación de los cultivos de cobertura aumentó significativamente la producción de materia seca con respecto a la situación de barbecho tradicional, lo que trajo aparejado una notable mejora en la EUA.

Napa

La presencia de napa y/o ascenso capilar desde la zona saturada representa una oportunidad para cubrir los requerimientos de uso consuntivo de los cultivos pero también un riesgo de salinización y/o alcalinización de los suelos. Saks et al. (2010) evaluaron durante tres años la contribución de las napas al rendimiento del cultivo de maíz y respuesta a la fertilización nitrogenada. La Figura 3 muestra la variación del rendimiento de maíz de los tratamientos testigos (1262 a 13322 kg ha⁻¹) y fertilizados (829 a 18113 kg ha⁻¹) en función de los contenidos de agua útil a la siembra. En sitios con menor reserva de agua útil el aporte de N no influyó positivamente sobre el cultivo, registrándose similares e incluso menor rendimiento que el testigo. Los rendimientos promedios de los tratamientos sin fertilizar variaron entre 4012 (sin napa) y 9454 (con napa) con una mayor respuesta a la fertilización en los sitios con napa (+ 3060 kg ha⁻¹) respecto de los sin napa (+ 360 kg ha⁻¹). En los sitios con napa se observaron respuestas significativas a la fertilización nitrogenada en las variables rendimiento ($p < 0.001$), número de granos/m² ($p < 0.005$) y número de granos/hilera ($p < 0.08$).

Figura 03

Rendimiento de maíz de los tratamientos testigos y fertilizados (120 kg ha⁻¹ de N) en función del contenido de agua útil a la siembra (AUS). Adaptado de Saks et al. (2010).



Conclusiones

- En base a lo expuesto, es evidente que al elaborar estrategias para un manejo eficiente del agua, resulta necesario considerar el peso relativo de los distintos factores que condicionan la misma. Por ejemplo, la adopción de la siembra directa puede contribuir significativamente a una mayor eficiencia de uso del agua pluvial si la secuencia de cultivos posibilita la realización de barbechos adecuados, si el nivel de cobertura es suficiente para optimizar la relación transpiración/evaporación, si el perfil de suelo posee una adecuada capacidad de retención de agua, si la profundidad efectiva de raíces es adecuada para ese perfil y si los nutrientes no condicionan la EUA.
- En la actualidad los estudios sobre el manejo del agua están orientados a identificar y establecer un orden jerárquico de los factores (análisis discriminante) que en diferentes condiciones de sitio condicionan la eficiencia de uso del agua pluvial y productividad de los cultivos (física y económica). También es creciente el interés por valorar los efectos del manejo sobre la sostenibilidad del sistema a través de un enfoque sistémico que también considere aspectos ambientales.

Referencias

- Ali, M.H., Talukder, M.S.U., 2008. Increasing water productivity in crop production – A synthesis. *Agric. Water Manage.* 95:1201-1213.
- Aldaya, M.M., Martínez-Santos, P., Llamas, M.R. 2009. Incorporating the water footprint and virtual water into policy: reflections from the Mancha Occidental region, Spain. *Water Resource Management*.doi 10.1007/s11269-009-9480-8.
- Amir J., J. Krikun, D. Orion, J. Putter, S. Klitman. 1991. Wheat production in an arid environment. I. Water-use efficiency, as affected by management practices. *Field Crops Res.* 27: 351-364.
- Atwell B. 1990. The effect of soil compaction on wheat during early tillering. *New Phytol.* 115: 29-35.
- Atwell B. 1993. Response of roots to mechanical impedance. *Environ. Exp. Bot.* 33:27-40.
- Ayars, J.E., Christen, E.W, Soppe, R.W., Meyer, W.S. 2006 The resource potential of in-situ shallow ground water use in irrigated agriculture. A review. *Irrigation Science*, 24, 147-160.
- Ayars, J.E., Hutmacher, R.B., Schoneman, R.A., Soppe, R.W.O., Vail, F., Dale, S.S., 1999. Realizing the potential of integrated irrigation and drainage water management for meeting crop water requirements in semi-arid and arid areas. *Irrig. Drain. Syst.* 13, 321–347.
- Bennie, A., M. Hensley. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *J. Hydrology.* 241: 124-139.
- Diez M., I. Frasier, C. Sardiña, A. Quiroga. 2010. Efluente de tambo en maíces establecidos sobre Entisoles y Molisoles de la planicie medanosa. XXI Congreso AACS, Rosario.
- Eiza M., P. Carfagno, A. Quiroga. 2010. Eficiencia en el uso del agua de distintos cultivos de cobertura en el oeste de la provincia de Buenos Aires. XXI Congreso AACS, Rosario.
- Fernández, R., Quiroga, A., Noellemeyer, E., Funaro, D., Montoya, J., Hitzmann, B., Peinmann, N. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. *Agric. Water Manag.* 95, 1028-1040.
- Fernández R. 2007. Efecto de la cobertura del suelo durante el barbecho para cultivos estivales en la región semiárida pampeana. Tesis Magister en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. Argentina. 72 pp
- Fontana F., M. Paturlane, M. Saks, A. Quiroga. 2006 Efecto del suelo sobre propiedades edáficas y rendimiento de trigo en la región semiárida pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Frasier I., R. Fernandez y A. Quiroga. 2010. Influencia del manejo sobre la eficiencia de uso del agua para la producción de forraje en centeno. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras, Azul, Buenos Aires.
- Jobbágy, E.G. y Santoni, C. 2006. La (nueva) agricultura y la hidrología en la llanura chaco pampeana: Desafíos para las próximas décadas. XXII Reunión Argentina de Ecología: Hechos y Perspectivas.
- Lampurlanés J., C. Cantero-Martínez. 2003. Soil bulk density and penetration resistance under different tillage and crop management systems and their relationship whit barley root growth. *Agron. J.* 95: 526-536.
- Molden, D., Oweis, T., Steduto, P., Bindraban, P., Hanjra, M.A., Kijne, J., 2009. Improving agricultural water productivity: between optimism and caution. *Agric. Water Manage.* 97:528-535.
- Nielsen, D.C., Unger, P.W., Miller, P.R., 2005. Efficient Water Use in Dryland Cropping Systems in the Great Plains. *Agron. J.* 97:364–372.
- Quiroga A., D. Funaro, R. Fernández, E. Noellemeyer. 2005. Factores edáficos y de manejo que condicionan la eficiencia del barbecho en la Región Pampeana. *Ciencia del Suelo.* 23: 79-86.
- Prasad R., J. Power. 1991. Crop residue management. *Advances in Soil Sc.* 15: 205-241.
- Saks M., A. Quiroga, R. Fernandez, P. Zalba. 2010. Efecto de la disponibilidad de agua y nitrógeno sobre la productividad de maíz en Molisoles de la región semiárida y subhúmeda pampeana. XXI Congreso AACS, Rosario.
- Viglizzo, E.F., Lértora, F., Pordomingo, A.J., Bernardos, J.N., Roberto, Z.E. and Valle, H.D. 2001. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 83:65-81.
- Viglizzo, E.F., Jobbágy, E.G., Carreño, L., Frank, F.C., Aragón, R., Oro, L.D. and Salvador, V. 2009. The dynamics of cultivation and floods in arable lands of Central Argentina. *Hydrology and Earth System Sciences* 13:491-502.
- Wallace, J.S. 2000. Increasing agricultural water use efficiency to meet future food production. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 82, 105-119.