

Condiciones para el desarrollo de producciones agrícolas-ganaderas en el S.O. Bonaerense.
Panel Suelos: Gestión del agua y viabilidad de los sistemas productivos.
Alberto Quiroga, Carolina Gaggioli
EEA «Guillermo Covas», INTA Anguil

En general la investigación en gestión del agua se ha orientado al desarrollo de prácticas para mejorar la eficiencia de uso en sistemas irrigados y en la sistematización de cuencas y pendientes para mejorar la captación en áreas afectadas por procesos de erosión hídrica. Comparativamente la gestión del agua en producciones agrícolas y ganaderas de secano muestra un menor desarrollo, a pesar de que en regiones semiáridas y subhúmedas constituye el principal factor que condiciona tanto la productividad como sustentabilidad de los sistemas de producción. Las relaciones entre el uso de la tierra y su hidrología han sido poco estudiadas.

En la mayor parte del área productiva de la 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. Estas regiones han experimentado un importante proceso de agriculturización y/o intensificación de la carga ganadera.

Bajo estas condiciones, en las que las precipitaciones resultan insuficientes para cubrir los requerimientos de los cultivos, la capacidad de retención (CRA) y los contenidos de agua útil (AU) a la siembra poseen una significativa influencia en la productividad. Esta disponibilidad de agua resulta dependiente de aspectos genéticos de los suelos determinantes de la CRA (textura, espesor), del cultivo (ciclo, índice de cosecha, profundidad efectiva de raíces: PER) y del manejo (sistema de labranza, cultivo antecesor, barbecho, cobertura). El régimen hídrico también puede ser influenciado por la presencia de la napa freática (profundidad, ascenso capilar, contenido de nutrientes) y por factores que condicionan la captación (infiltración, conductividad hidráulica), almacenaje y eficiencia de uso del agua.

De esta manera, 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 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/ambiente/manejo

para una producción más eficiente; b) 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); 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.

Si bien todos los factores mencionados pueden ejercer algún grado de influencia sobre la producción, el peso relativo de los mismos normalmente varía entre sitios con distintas características edafoclimáticas. Identificar los factores más importantes (a nivel de sitio) y establecer cierto orden jerárquico en los mismos resulta imprescindible para sentar las bases del manejo del agua en sistemas productivos de secano.

El sudoeste de la provincia de Buenos Aires se caracteriza por sistemas de producción mixtos. Al respecto, el Ing. Agr. Jorge Couderc de la AER Pigüé, del INTA Bordenave expresa que «en los últimos años se ha mencionado como un dato importante de la realidad el avance de la agricultura sobre las áreas destinadas a ganadería, llegando a afirmar que la ganadería se desplazaba definitivamente a zonas más marginales y en las zonas agrícolas ésta sería la única actividad. La realidad en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires está muy distante de ser así, aunque es necesario reconocer un aumento en la superficie destinada a cultivos agrícolas de cosecha, la actividad ganadera es la única posible en muchos ambientes agroclimáticos de la zona. Factores como la lluvia y características del suelo determinan la posibilidad de desarrollo de los cultivos en la región, ya sean de cosecha o forrajeros. La realización de un cultivo de cosecha gruesa en suelos de baja capacidad de retención de agua es un riesgo mayor al realizado en suelos de alta capacidad de almacenaje». En un documento generado por un taller interno de la EEA INTA Bordenave (2010) se expresa que es frecuente en la región la utilización de los suelos excediendo su capacidad productiva. Esto origina problemas de degradación química, física y erosión. Los primeros se refieren a balances negativos de carbono orgánico, fósforo y frecuentemente nitrógeno. La degradación física está representada por pérdida de la estabilidad estructural, con formación de costras superficiales (planchados), y compactación superficial y subsuperficial. Existe erosión hídrica y eólica en toda la región, con predominancia de la hídrica en el pedemonte serrano y en amplios sectores de relieve normal. Esta problemática no sólo caracteriza la región sudoeste de la provincia de Buenos Aires, sino que existe similitud con los sistemas de producción de las regiones semiáridas-subhúmedas de las provincias de La Pampa, Córdoba y San Luis.

Es por ello que con la finalidad de profundizar sobre los aspectos mencionados, se presentaran a continuación resultados de estudios conducidos en las regiones semiárida y subhúmeda pampeana.

Probabilidad de precipitaciones, usos consuntivos y rendimientos

Cuando se analiza la gestión del agua en un sistema de producción es conveniente considerar a la rotación de cultivos como una secuencia de usos consuntivos que se suceden en el tiempo en un mismo potrero. Es decir, una secuencia de consumos de agua. En una segunda instancia, definido el ciclo de cada cultivo (fecha de siembra y de madurez fisiológica), 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.

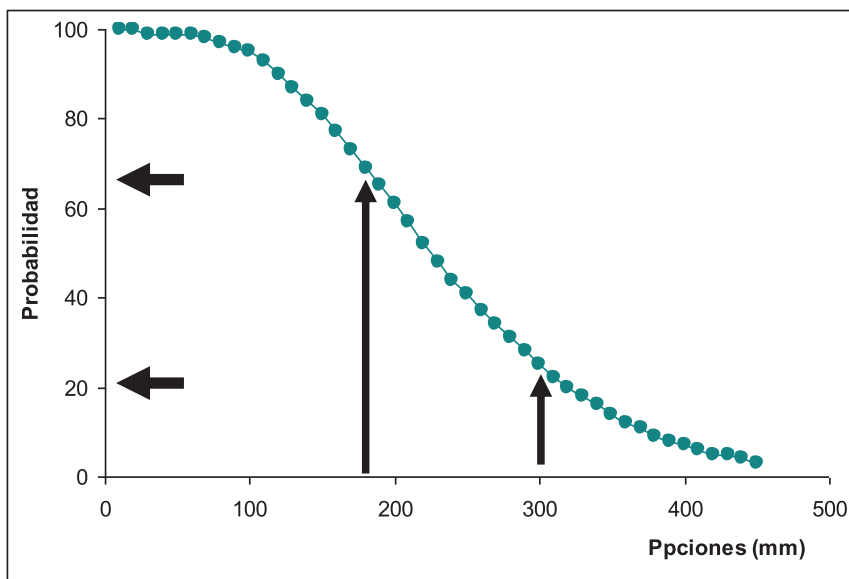


Figura 1: Probabilidad de precipitaciones durante el ciclo de verdes de invierno (marzo-agosto).

A manera de ejemplo y con la finalidad de tratar en conjunto aspectos de la relación agua-suelo-planta a continuación se analizan aspectos de la gestión del agua en dos de los principales cultivos de los sistemas mixtos: verdes de invierno y girasol.

Los verdes de invierno pueden producir 20 kg de materia seca/ha.mm, con lo cual resulta necesario disponer de 250 a 300mm de agua (entre marzo

y octubre) para alcanzar adecuadas producciones de forraje (5000 kg MS/ha). Como muestra la Figura 1, la probabilidad de que las precipitaciones cubran estos requerimientos en el periodo mencionado es apenas del 20%. Es decir que sólo dos de cada 10 años podríamos alcanzar los niveles de producción indicados. Sin embargo, si al momento de la siembra de los verdeos se dispone de 120mm de agua útil en el perfil, los requerimientos serán cubiertos por precipitaciones de 180mm. La probabilidad de que ocurran estas precipitaciones es del 70%, es decir que 7 de cada 10 años podemos lograr verdeos de buena producción. Podría concluirse entonces que una parte importante de la producción de forraje se genera con el agua almacenada en periodos previos a la siembra: «con precipitaciones del verano producimos pasto en otoño-invierno».

Respecto al cultivo de girasol, se conoce que posee requerimientos de agua variables entre 420 a 450mm. La probabilidad de que en Anguil, durante octubre-febrero, las precipitaciones cubran este consumo es inferior al 30% (Figura 2 a). Para satisfacer los requerimientos con una probabilidad del 70% el contenido de agua útil en el suelo (a la siembra) deberá ser superior a 150 mm. En la medida que esto no suceda los rendimientos estarán significativamente condicionados por la variación (entre lotes) de los contenidos iniciales de agua. La Figura 2 b muestra claramente como el cultivo con menor disponibilidad de agua a la siembra alcanza menor rendimiento y acorta su ciclo, entrando en senescencia entre 15 y 25 días antes. Es muy común que estas diferencias se registren entre ambientes de un mismo lote (loma y bajo) dificultando la cosecha, la cual normalmente se realiza en dos momentos distintos para evitar pérdidas en la loma o cosechar con humedad en el bajo.

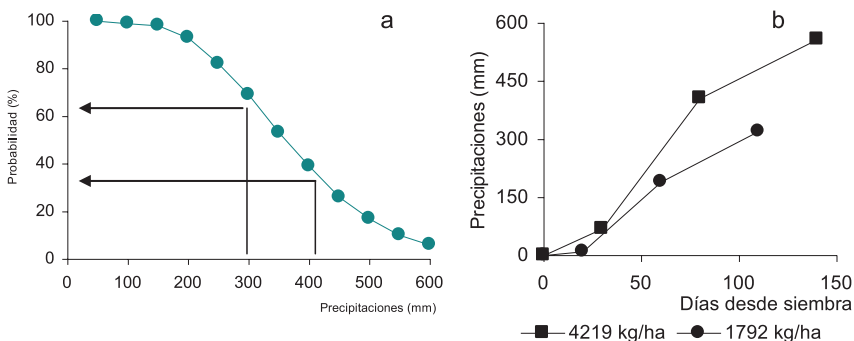


Figura 2 a): Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones de octubre a febrero, (Anguil, 1921 – 2005). b) Usos consuntivos, ciclo y rendimiento para un híbrido de girasol con y sin limitaciones hídricas.

Similares resultados se han comprobado en trigo, donde la variación del rendimiento también se relaciona con el agua almacenada a la siembra y ésta con la cantidad de residuos en superficie durante el barbecho. Estudios

muestran que la cobertura del suelo tiende a optimizar la relación transpiración/evaporación reduciendo las pérdidas directas e incrementando la eficiencia de uso del agua. Se ha comprobado que es necesaria cierta cantidad de residuos en superficie para regular la interfase suelo-atmósfera y minimizar las pérdidas de agua por evaporación.

En la Figura 3 a) se muestra como la eficiencia del barbecho resultó dependiente del nivel de cobertura comprobándose un valor crítico de aproximadamente 2000 kg/ha de materia seca (60% de cobertura). Sin embargo, el espesor de suelos y/o la profundidad efectiva de raíces (PER) puede condicionar la eficiencia de los barbechos y los efectos de la cobertura. Estudios muestran además que el rendimiento de trigo, para un mismo nivel de cobertura, varió no sólo en función del espesor de suelo sino también de la textura. De esta manera, en perfiles del mismo espesor y con similar cobertura de residuos, el rendimiento de trigo fue mayor en aquellos de granulometrías más finas.

Se puede observar en la Figura 3b que los residuos en superficie reducen la temperatura en los primeros centímetros del suelo. En alto nivel de residuos la temperatura del suelo se mantiene más estable que con bajo nivel de residuos. A los fines prácticos y debido a que los residuos no se distribuyen de manera uniforme sobre la superficie del suelo, estas diferencias en temperatura, podrían tener incidencia en el desarrollo de las raíces (exploración del perfil) y ser causantes de desuniformidad en el crecimiento de las plantas, principalmente durante los primeros estadios del cultivo de girasol.

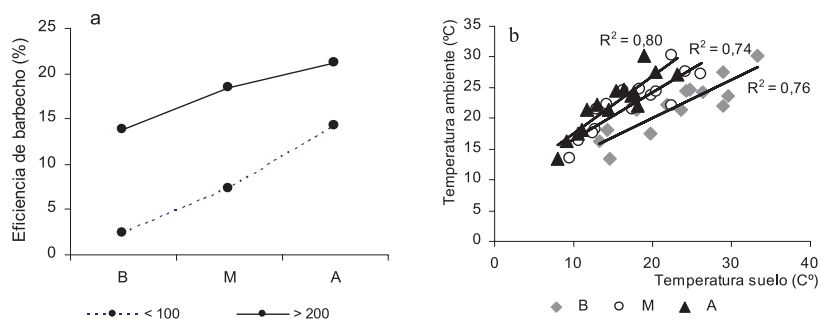


Figura 3: a) Eficiencia de barbecho en sitios con profundidad del perfil de suelo menor a 1 m y mayor a 2 m. Adaptado de Fernández 2007. b) Relación entre temperatura de suelo y ambiente en bajo (B), medio (M) y alto (A) nivel de residuos. Adaptado de Fernández *et al.*, 2008.

La Figura 4 muestra resultados de una experiencia complementaria a la indicada en la Figura 3 donde queda demostrado la significativa dependencia que la eficiencia del barbecho posee respecto de la CRA. En perfiles de suelo con mayor capacidad de almacenar agua se comprueba que la práctica del barbecho puede influenciar en mayor grado sobre la disponibilidad de agua.

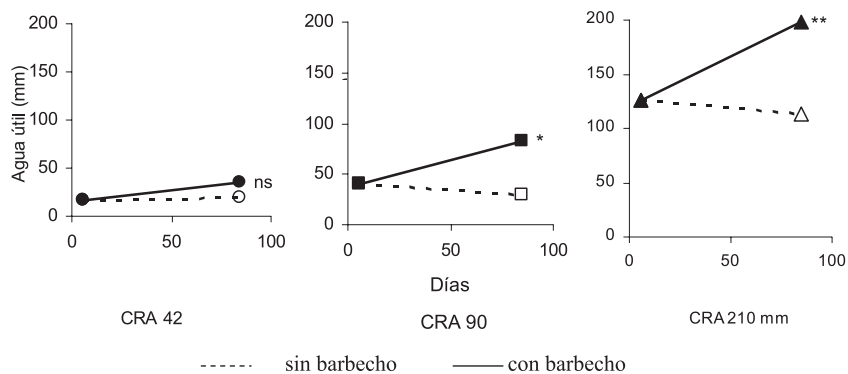


Figura 4: Efecto de la capacidad de retención de agua del suelo sobre el agua útil almacenada durante el barbecho. Diferencias significativas al 5%. (Adaptado de Quiroga et al., 2005).

Sobre la base de lo expuesto, en la Tabla 1 se presenta una clasificación utilitaria de perfiles de suelos según la composición granulométrica y el espesor del perfil. Ambos parámetros son principales condicionantes de la CRA y, como se expuso anteriormente, de la eficiencia de los barbechos y la producción de los cultivos en las regiones semiárida y subhúmeda pampeana.

Comparativamente, aquellos perfiles con mayor CRA brindan al productor mayor seguridad y normalmente son destinados a la producción de grano, asignando a los mismos mayor tecnología (genética de mayor potencial, mayor densidad de plantas, fertilización).

Tabla 1: Capacidad de retención de agua en función del espesor de suelo y del contenido de arcilla mas 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

Evaluación de la disponibilidad de agua

Los suelos sobre los que se encuentran establecidos los sistemas mixtos de producción se caracterizan por un amplio rango de variación en la capacidad de almacenaje de agua, comprendiendo las planicies con tosca y medanosa de La Pampa, sur de Córdoba, este de San Luis y oeste de Buenos Aires.

Aplicando la ecuación 1 se comprueba que la capacidad de almacenar agua de los suelos varía ampliamente en la región (50 a 200 mm) y, como se expresó anteriormente, resulta determinante de «la vocación productiva del lote». Este término resulta muy práctico al momento de analizar la viabilidad de un sistema de producción (cría, invernada, tambo, agricultura de verano). Por ej. un establecimiento de la planicie con tosca que posee suelos con capacidad de almacenar 80 mm de agua difícilmente pueda basar su producción en cultivos de cosecha gruesa. En este caso el sistema de producción estará fuertemente condicionado por el recurso suelo (y clima) antes que por el sistema de labranza, fertilización, genética, etc. La Tabla 2 ilustra sobre este aspecto.

Ecuación 1:

Capacidad almacenar agua útil (mm) = profundidad x (C.C – PMP) x DA= 50 a 200 mm.

Profundidad= espesor de suelo explorado por las raíces.

CC= humedad de capacidad de campo.

PMP= humedad de punto de marchites permanente.

DA= densidad aparente.

Tabla 2: Efecto de la capacidad de retención de agua sobre los contenidos de materia orgánica y producción de centeno en suelos de la región Semiárida Pampeana; n es el número de sitios evaluados.

	Capacidad de Retención de Agua (CRA)		
	Baja	Media	Alta
Prof. (cm)	76 (n 11)	12 (n 16)	187(n 18)
CRA (mm)	115	204	368
MO (%)	1,31 a	1,47 b	1,94 c
MS (kg ha ⁻¹)	1652 a	1969 ab	2562 b
Rend.(kg ha ⁻¹)	588 a	757 ab	1049 c
N en grano (kg ha ⁻¹)	15,8 a	19,4 b	25,2 c

A igual régimen de precipitaciones y planteo productivo, suelos con diferente CRA condicionarán distintos rendimientos y balance de C. Esto implica que frente al mismo sistema de producción y secuencia de cultivos pueden presentarse diferencias importantes entre lotes en el balance de C y consecuentemente en los procesos de degradación. Suelos que mantienen un equilibrio aparente en el tiempo (Neutralidad), suelos donde aumenta el contenido de C (Secuestro) y por último suelos con pérdida de C (Emisión). Existe preocupación en toda la región, dado que el proceso de agriculturización con cultivos anuales que realizan un menor aporte de rastrojos, y la utilización de estos por la ganadería muestran que la situación más frecuente es la denominada de «Emisión» de Carbono. Asociado a esto se comprueba

degradación física, principalmente de los suelos con mayor proporción de limo (Fotos 1, 2, 3 y 4).

Frente a esta situación algunos productores han diferenciado sus lotes sobre la base de la «vocación productiva» y de esta manera han establecido distintas secuencias de cultivos acorde con la capacidad de los suelos, lo cual les ha permitido mantener e incrementar el contenido de MO.



3

Captación

(almacenaje-conservación- eficiencia uso)



4

Foto 1: erosión hídrica en suelos condicionados por baja capacidad de infiltración e influenciados por el relieve (escurrimiento).

Foto 2: suelos con compactación superficial por el sobre uso de los residuos de cosecha.

Foto 3: encharcamiento en lotes limitados por la baja proporción y mala orientación de la macroporosidad.

Foto 4: suelo con presencia de compactación subsuperficial que limita el desarrollo de las raíces en profundidad.

Luego de considerar la viabilidad de un sistema de producción para una determinada condición de sitio (suelo y clima), es conveniente analizar la secuencia de cultivos a utilizar. Por tratarse de región semiárida, al referirnos a la rotación de cultivos, consideramos oportuno introducir el concepto de **«secuencia de usos consuntivos»**. Es decir que el productor deberá definir una estrategia de manejo para cada lote en particular a fin de cubrir los requerimientos de agua de los distintos cultivos. Es muy importante considerar la **«influencia del cultivo antecesor»** y el manejo del agua previo a la siembra. En este sentido la ecuación 2 resulta de fundamental importancia al momento de analizar una secuencia de cultivos.

Ecuación 2:

Agua útil a la siembra = Prof. x (humedad siembra – PMP) x DA = 0-200 mm

La secuencia de los cultivos (determinante de la duración de barbechos) y la cobertura (sistema de labranza) inciden de manera significativa sobre la captación y eficiencia de almacenaje del agua en el suelo. De esta manera los contenidos de agua útil a la siembra de un cultivo pueden variar ampliamente entre lotes (0-200 mm).

Otro aspecto a evaluar, principalmente en sistemas mixtos de regiones semiáridas, son los **usos consuntivos simultáneos** que tienen lugar bajo pasturas perennes polifíticas. Estudios muestran la importancia que posee este tema en los sistemas ganaderos de cría y recría localizados sobre suelos de las Unidades cartográficas de Mesetas y Valles y de Mesetas Relictos de relieve plano, con precipitaciones que oscilan entre 450 y 700 mm. Si bien uno de los aspectos buscados en las pasturas polifíticas es el aporte de N de las leguminosas, se comprueba visualmente la fuerte competencia por el agua en estos ambientes semiáridos.

La baja capacidad de los suelos para almacenar agua al ser limitados por la presencia de tosca y los altos requerimientos de la pastura determinan que con frecuencia el perfil alcance valores de humedad de punto de marchitez. A consecuencia de ello y como un mecanismo de defensa se producen defoliaciones recurrentes dando lugar a una baja disponibilidad de forraje.

A fin de optimizar la productividad de la gramínea y evaluar su comportamiento respecto al uso del agua se establecieron pasturas de pasto ovillo puro, con algunas variantes respecto al manejo de la fertilidad nitrogenada (fertilización de primavera y otoño e intersiembra de vicia). La Tabla 3 resume los resultados obtenidos a lo largo de la experiencia, agrupando los mismos en 4 categorías de disponibilidad de agua: O (>75% agua útil), B (50-75%), L (25-50%), ML (< 25%). Si bien en ambas pasturas la disponibilidad de agua resultó menor durante el verano, se comprobó una mayor restricción en el perfil bajo pastura polifítica.

Tabla 3: Disponibilidad de agua en perfiles de suelo bajo pastura.

Período	Pastura polifítica	Pasto ovillo
2000-I	O	O
-P	B	O
-V	ML/L	L/B
2001-O	B/O	O/O
-I	B	B
-P	B/O	O/O
-V	ML	L
2002-O	ML	ML
-I	L	B/L

Asociado a una mayor disponibilidad de agua se comprueba que el periodo de producción del pasto ovillo se prolonga con la posibilidad de reducir la superficie destinada a verdeo de invierno. Además la mayor disponibilidad de agua genera mejores condiciones para la fertilización nitrogenada.

Al momento de decidir la estrategia de fertilización, principalmente postergada, resulta adecuado utilizar la ecuación 3:

Ecuación 3:

$$\text{Agua útil} = \text{Prof.} \times (\text{humedad a los 2 hojas} - \text{PMP}) \times \text{DA} = 0-200\text{mm}$$

La ecuación 3 permite calcular el contenido de agua que puede tener el suelo al momento de decidir una fertilización, por ejemplo aplicar nitrógeno en verdeos (2 hojas). Resultados de 8 años de experimentación muestran que en suelos con contenidos inferiores a 80 mm de agua útil (fin de marzo) no es aconsejable esta práctica, dado que el agua normalmente limitará antes la producción de forraje. De la misma manera se realizan evaluaciones a 6 hojas en maíz, 4 pares de hojas en girasol y macollaje de trigo.

Contribución de las napas

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. Experiencias realizadas en suelos de la planicie medanosas mostraron una importante contribución de las napas sobre la producción de los cultivos. Se observó una significativa variación del rendimiento de maíz de los tratamientos testigos (1262 a 13322 kg/ha) y fertilizados (829 a 18113 kg/ha)

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 similar 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) respecto de los sin napa (+ 360 kg/ha). En los sitios con napa se observaron respuestas significativas a la fertilización nitrogenada en las variables rendimiento, número de granos/m² y número de granos/hilera ($p < 0.08$). Las fotos 5 y 6 muestran un perfil con napa y la superficie del suelo afectada por sales, respectivamente.



Foto 5: perfil de suelo con presencia de napa a 100cm.

Foto 6: superficie del suelo afectada por sales como consecuencia del ascenso capilar desde la napa.

Según la profundidad de la napa, el agua subterránea puede estar totalmente desacoplada de la vegetación o interactuar con ella como un aporte adicional de agua y nutrientes o un factor de estrés por anegamiento y/o salinidad.

En consecuencia, las napas freáticas representan una «oportunidad» pero también un «riesgo» para los sistemas de producción. Es por ello que resulta necesario conocer su dinámica y elaborar estrategias de manejo de las mismas acorde con la profundidad en que se encuentran y a los elementos que contiene, principalmente el contenido total de sales y proporción de sodio. Al evaluar el manejo de la napa es necesario considerar al menos 5 puntos:

- Profundidad a la que se encuentra la zona saturada: esta información es necesaria para saber que profundidad de raíces debo planificar y los riesgos de ascenso de sales a superficie.

- Contenido total de sales y de sodio.
- Textura del suelo que condiciona el ascenso capilar del agua.
- Profundidad efectiva de las raíces necesarias para aprovechar la napa: este factor varía entre especies, entre materiales dentro de una misma especie (híbridos, cultivares) y puede ser afectado de manera importante por la fecha de siembra.
- Condición física del suelo en cuanto a una adecuada proporción de macroporos que no limite la exploración del perfil por las raíces y la aireación. Es necesario disponer de una adecuada cobertura de residuos superficiales que limite la evaporación y el ascenso de sales a superficie.

Se debe tener presente que la contribución de la napa al rendimiento de los cultivos normalmente es muy importante. Que un espesor de 40cm de suelo saturado al alcance de las raíces de un cultivo representa aproximadamente 200mm de agua disponible. Tres años de trabajos en maíz evaluando la contribución de las napas muestran que el mismo ha utilizado en algunos casos más de 240mm de agua duplicando los rendimientos respecto a testigos sin influencia de napa. Sin embargo, se han presentado también situaciones de napas con contenidos importantes de sales que asociada a suelos con bajas coberturas han causado la salinización y/o alcalinización de los suelos. Es por ello que **las napas representan una oportunidad pero también un riesgo y deben planificarse.**

Eficiencia de 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.

Por ejemplo, se ha comprobado que valores de resistencia a la penetración (RP) > 2 MPa dieron lugar a una significativa reducción en el desarrollo de raíces y en la concentración de nitrógeno y potasio en hoja. 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.

Estudios muestran que si bien la RP varía en función de la humedad del suelo, 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 con mayor proporción de arena mientras que los cambios son importantes en suelos con mayor contenido de limos (Figura 5). Por lo

expuesto no es posible generalizar sobre los efectos que la RP puede tener sobre la PER y la eficiencia de uso del agua. Es decir que tampoco se puede generalizar sobre los efectos que el pisoteo de animales puede causar sobre planteos ganaderos agrícolas en siembra directa.

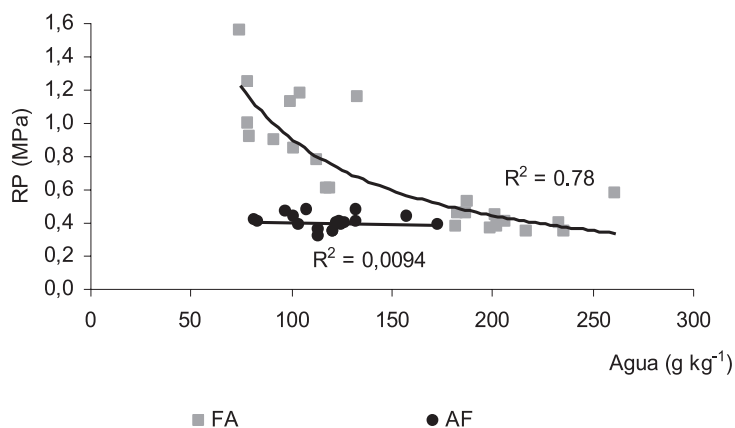


Figura 5: Efecto de los contenidos de agua sobre la resistencia a la penetración en suelo FA: franco arenoso y AF: arenoso franco. Adaptado de Fernández 2007.

De manera coincidente a lo comprobado con RP, se ha observado que la abundancia y distribución de las raíces en el perfil fueron principalmente afectadas por la densidad aparente ya sea por influencia de aspectos genéticos (textura) como de manejo. Estos resultados indican que los valores críticos de las propiedades del suelo que condicionan el desarrollo de las raíces también resultan dependientes de la textura de los suelos.

La PER además de ser condicionada por el espesor y/o condición física del suelo varía entre especies y entre cultivares dentro de una misma especie, incidiendo significativamente en la eficiencia en el uso del agua.

Además de las diferencias en la PER se ha comprobado que la eficiencia de uso del agua para la producción de grano (EUA) puede ser similar entre materiales, mientras que distinta la eficiencia en la producción de biomasa aérea total. Estas diferencias relacionadas con el índice de cosecha resultan particularmente relevantes en regiones semiáridas, donde la sustentabilidad de los sistemas de producción resultan dependientes del aporte de residuos. El aporte de nutrientes, principalmente nitrógeno (N) y fósforo (P), es otro aspecto a considerar en la gestión del agua. Como ejemplo se muestran resultados de evaluaciones realizadas en cebada cervecera donde el aporte de la fertilización nitrogenada (con corrección de P en sitios con menos de 10 ppm) incrementó significativamente la EUA (Figura 6).

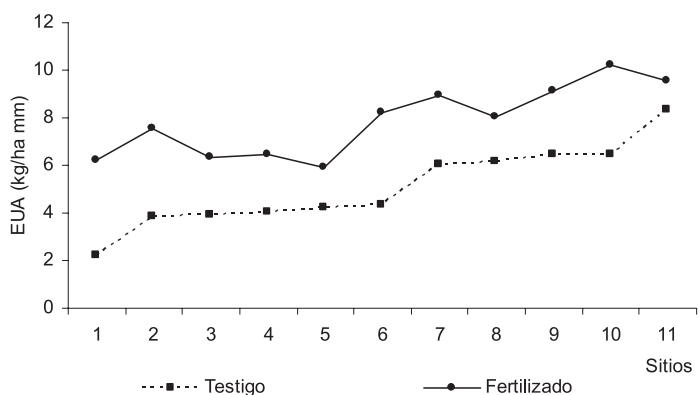


Figura 6: Eficiencia en el uso del agua (EUA) de cebada en tratamientos testigo y fertilizado (NP).

Además de la respuesta positiva en la EUA debido a la fertilización se comprobó interacción significativa entre nutrientes (N-P). En la Figura 7 se puede observar para centeno que no hay efecto de P si no se aplica N, que las dos dosis de P (20 y 40) difieren de la dosis P 0 cuando se aplica N 40, y cuando se aplica N 80, todas las comparaciones entre dosis de P difieren entre sí. Similar comportamiento se registra con N, resultando la respuesta dependiente de la fertilización fosforada. La EUA se incrementó significativamente desde 10,6 kg/ha mm de materia seca para el testigo hasta 21,8 kg/ha mm para el tratamiento de máxima fertilización.

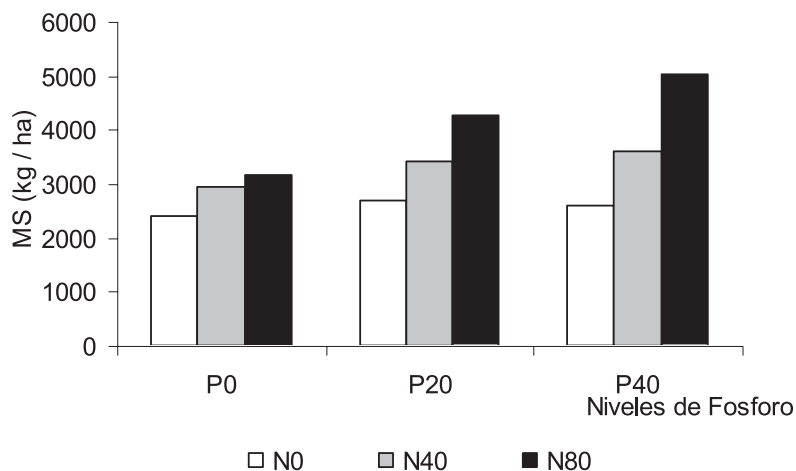


Figura 7: Materia seca total de centeno (3 cortes) para los distintos tratamientos de fertilización con N: nitrógeno y P: fósforo.

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 importantes sobre el sistema poroso. Principalmente sobre la macroporosidad (cantidad, orientación, estabilidad) la cual por debajo de niveles críticos (10% de macroporos mayores a 100 μm) puede condicionar de manera importante la captación del agua pluvial. Las fotos 7 y 8 muestran la cobertura de un suelo en la secuencia soja-maíz y la cobertura en una secuencia soja-cultivo de cobertura-maíz, respectivamente.



Foto 7: Cobertura del suelo en secuencia soja-maíz.

Foto 8: cobertura del suelo en una secuencia soja-cultivo de cobertura-maíz.

Síntesis manejo del agua

Por lo expuesto es evidente que al elaborar estrategias para un manejo eficiente del agua resulta necesario considerar el peso relativo de todos los factores considerados anteriormente. Por ejemplo, la adopción de la SD 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 almacenaje de agua útil, si la profundidad efectiva de las raíces de la especie y/o cultivar seleccionado es adecuada para explorar ese perfil y si los nutrientes no condicionan la productividad.

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 sitios condicionan la eficiencia de uso del agua pluvial y productividad de los cultivos. 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.

Bibliografía

- Al-Darby, A.M., Lowery, B., 1987. Seed zone soil temperature and early corn growth with three conservation tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 768–774.
- 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.
- Creus C., G. Studdert, H. Echeverria, S. Sanchez. 1998. Descomposición de residuos de cosecha de maíz y dinámica del nitrógeno en el suelo. *Ciencia del Suelo* 16: 51-57.
- Dardenelli L., O. Bachmeier, R. Sereno, R. Gil. 1997. Rooting depth and soil water extraction patterns of different crops in a silty loam Haplustoll. *Field Crops Research* 54: 29-38.
- Bennie, A., M. Hensley. 2000. Maximizing precipitation utilization in dryland agriculture in South Africa, a review. *J. Hydrology.* 241: 124-139.
- Fabrizzi K., F. García, J. Costa, L. Picone. 2005. Soil water dynamics, physical properties and corn and wheat responses to minimum and no-tillage systems in the southern Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 81- 57-69.
- 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.
- Fernández R., A. Quiroga. 2008. Efecto del sistema de labranza en la eficiencia de almacenamiento del agua en la región semiárida pampeana. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Fernández R., A. Quiroga, E. Noellemeyer, D. Funaro, J. Montoya, B Hitzmann, N. Peinemann. 2008. A study of the effect of the interaction between site-specific conditions, residue cover and weed control on water storage during fallow. En prensa. Agricultural Water Management.
- Fontana F., M. Paturlane, M. Saks, A. Quiroga. Efecto del suelo sobre propiedades edáficas y rendimiento de trigo en la región semiárida pampeana. XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.

Funaro D., A. Quiroga. 2008. Abundancia y distribución de raíces en el cultivo de girasol. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. 144 pp.

Lampurlanés J., C. Cantero-Martínez. 2003. Soil bulk density and penetration resistence under different tillage and crop management systems and their relationship whit barley root growth. *Agron. J.* 95: 526-536.

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.

Quiroga A., M. Saks, D Funaro, R. Fernández. 2006. Aspectos del manejo del agua y la nutrición nitrogenada de maíz en la Región Semiárida y Subhúmeda Pampeana. XX Congreso Argentino de la *Ciencia del Suelo.*

Prasad R., J. Power. 1991. Crop residue management. *Advances in Soil Sc.* 15: 205-241.

Power J., W. Wilhelm, J. Doran. 1986. Crop residue effects on soil environment and dryland maize and soya bean production. *Soil Till. Res.* 8: 101-111.