

# EL AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS EXTENSIVOS: I. EL SUELO COMO UN GRAN RESERVORIO EFICIENTE

Micucci F.G.<sup>1 y 2</sup>, Taboada M.A.<sup>2</sup>, Gil R.<sup>3</sup>.  
INPOFOS Cono sur<sup>1</sup>, Cátedra de Fertilidad de Suelos, FAUBA<sup>2</sup>, INTA Castelar<sup>3</sup>  
[fmicucci@ppi-ppic.org](mailto:fmicucci@ppi-ppic.org)

## Importancia del agua en el sistema agrícola

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. La evaluación cuantitativa del agua del suelo constituye entonces una herramienta fundamental para comprender tales interacciones y establecer pautas de manejo que optimicen su uso en el sistema de producción.

## Cálculo del contenido de agua del suelo

En términos generales, la composición en volumen de un suelo de textura media (franca) es del 50% de sólidos (minerales 45% y M.Org 5%) y 50% de poros. Ese espacio poroso puede ser ocupado por agua solamente (suelo saturado), y es el caso de las arroceras; o puede ser ocupado en su mayor parte sólo por aire (suelo seco), o por ambos agua y aire. Típicamente, los suelos agrícolas, permanecen en este último estado es decir un estado no saturado. El contenido de agua del suelo en un momento dado es posible expresarlo de diferentes formas (Hanks y Ashcroft, 1980). Por ejemplo, se puede expresar en relación a la masa de suelo, llamado humedad en peso (**Hg**) presente en la ecuación [1],

$$\text{Humedad en peso (Hg g/g)} = \text{masa de agua(g)/masa de suelo seco(g)} \quad [1]$$

en donde la masa de agua surge de la diferencia entre la masa total de suelo húmedo y la masa de suelo seco en estufa durante 24hs a 105°C.

También se puede expresar en relación a su volumen, llamado humedad volumétrica ( $\theta$ ) presente en la ecuación [2],

$$\text{Humedad volumétrica } (\theta \text{ cm}^3/\text{cm}^3) = \text{volumen de agua}(\text{cm}^3)/\text{volumen suelo seco}(\text{cm}^3) \quad [2]$$

en donde el volumen de agua corresponde a la masa de agua (de la ecuación 1) y el volumen de suelo correspondiente al cilindro de la muestra.

Es posible relacionar ambas ecuaciones (1 y 2) mediante el valor de densidad aparente del suelo ( $D_{ap} \text{ g/cm}^3$ ) de acuerdo con la ecuación [3]:

$$(\theta \text{ cm}^3/\text{cm}^3) = (\text{Hg g/g}) * (D_{ap} \text{ g/cm}^3) \quad [3]$$

Finalmente el valor de contenido de agua del suelo es importante ya que nos permite (Hanks y Ashcroft, 1980):

1. Inferir acerca de la influencia del agua en el crecimiento de las plantas
2. Calcular la cantidad de agua a complementar con el riego o la necesidad de agua de lluvia, o la profundidad que alcanza en el perfil de suelo una determinada cantidad de agua.
3. Estimar las pérdidas por evapotranspiración a lo largo de todo el ciclo de un cultivo, siendo ésta una de las mayores vías de pérdida dentro del ciclo hidrológico

### **El concepto de lámina de agua y su utilidad**

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 [4]:

$$L \text{ (mm)} = \frac{\text{Humedad volumétrica}}{(\theta \text{ cm}^3/\text{cm}^3)} * \text{Espesor de la capa de suelo} \text{ E (cm)} \quad [4]$$

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 (M. Sumner, 2000, Gil R. y Garay A. 1999). Por otro lado, existe una relación entre la lámina de agua y la degradación y erosión de los suelos. Hoy en día, gran parte de los factores que determinan la producción de los principales cultivos agrícolas de la región pampeana están vinculados a este concepto. Numerosas investigaciones (Gil R 1997, Casas y Irurtia 1995, 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). También es un dato muy necesario a la hora de tomar decisiones relacionadas con el manejo agronómico, como planificación de las rotaciones, factibilidad de respuestas a la fertilización entre otras.

### **Cantidad de agua disponible para los cultivos**

No sólo es importante saber el contenido de humedad del suelo (Hg /  $\theta$ ) sino también la energía con que está retenida esa agua en la matriz del suelo. Por ejemplo dos suelos pueden tener la misma cantidad de agua pero uno retenerla con más energía que el otro y por lo tanto menos disponible para la planta. Por convención, esta energía toma signo negativo cuando se la conoce

con el nombre de potencial mátrico ( $\Psi_m$ ). De alguna forma esta energía puede ser vista como la cantidad de trabajo necesaria para desplazar una cantidad de agua dada desde el suelo, donde está retenida, a un estado de agua libre. A medida que el contenido de humedad de un suelo decrece desde saturación donde no existe la retención ( $\Psi_m = 0$ ), la energía de retención aumenta y empiezan a actuar las fuerzas capilares y de adsorción. En saturación todos los poros están llenos de agua, y luego en la medida que el suelo se seca el agua queda retenida en los poros más chicos. La figura 2 muestra una curva de retención de humedad que relaciona la energía de retención ( $\Psi_m$ ) con el contenido volumétrico de agua ( $\theta$ ). Se observa que la relación entre ambos parámetros es compleja (no lineal) debido a que interaccionan las distintas fases (sólida-líquida-gaseosa). Esta relación entre el contenido de agua del suelo y su energía retención nos permite también caracterizar a los siguientes parámetros o coeficientes hídricos:

- Capacidad de campo (**CC**): que se define como la cantidad de agua que es retenida en el suelo luego de drenar el agua gravitacional. Se presenta una disminución sustancial de la tasa de movimiento descendente del agua en el suelo. A este valor se lo conoce también como capacidad normal de campo, capacidad capilar, capacidad de retención de agua, y límite máximo cuando se lo relaciona con el cultivo. Su valor es variable pero para muchos suelos un valor aceptable oscilaría entre 10 a 33 Kpa o 0,1 a 0,33 bares. Existe un valor que se determina en el laboratorio llamado humedad equivalente y se lo suele asimilar con la capacidad de campo. Este valor ha sido determinado por el INTA para una gran cantidad de series de suelo de la región pampeana y se lo encuentra en las cartas de suelo. Es interesante notar que en el mismo punto donde se define la capacidad de campo, se define también por diferencia la capacidad de aireación (CA) de un suelo. Es decir, el volumen de poros que han drenado cuando el suelo está en capacidad de campo. Como es de suponer, este volumen es muy importante porque de él dependen los procesos biológicos de la nitrificación y la aireación de las raíces de los cultivos. Se considera que un suelo posee deficiencias de aireación cuando el volumen de estos poros es menor que un 10 %.
- Punto de marchitez permanente (**PMP**): referido al contenido de agua en donde la energía de retención es tan alta que los vegetales no la pueden absorber alcanzando su estado de marchitez parcial o total como resultado del estrés hídrico. Si bien su valor es variable se ha tomado como valor de referencia -1500 kPa o -15 bares.

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 a la diferencia entre **CC-CMP**, también suele denominarse agua disponible, o agua útil. Esta diferencia puede calcularse en términos de humedad en peso (Hg g/g), humedad en volumen ( $\theta \text{cm}^3/\text{cm}^3$ ) o lámina (L mm).  
 Figura 2. Relación entre energía de retención y contenido de agua del suelo para tres tipos de textura. También se muestra la clasificación funcional del agua asociada al tamaño de los poros y a las partículas primarias. CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchitez permanente; CAD= capacidad de agua disponible. Fuente: Oades 1984, Tesis de F. Damiano (1999).

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 capacidad de campo dentro de una clase textural, que en el punto de marchitez permanente. Por otra parte, tanto la CC como la capacidad de aireación (CA) son fuertemente influenciados por el manejo. Es así que al deteriorar los poros de mayor tamaño, los procesos de compactación afectan negativamente la CAD (Micucci *et al.* 2002, 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 capacidad de agua disponible (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 2.1 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 2.1. 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 pampena y áreas adyacentes (adaptado de Damiano y Taboada, 2000).

Región	SubGrupos de suelo dominante	CAD-Perfil (mm)	CAD-CA (mm)	CAD-CA (% perfil)	Prof 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.

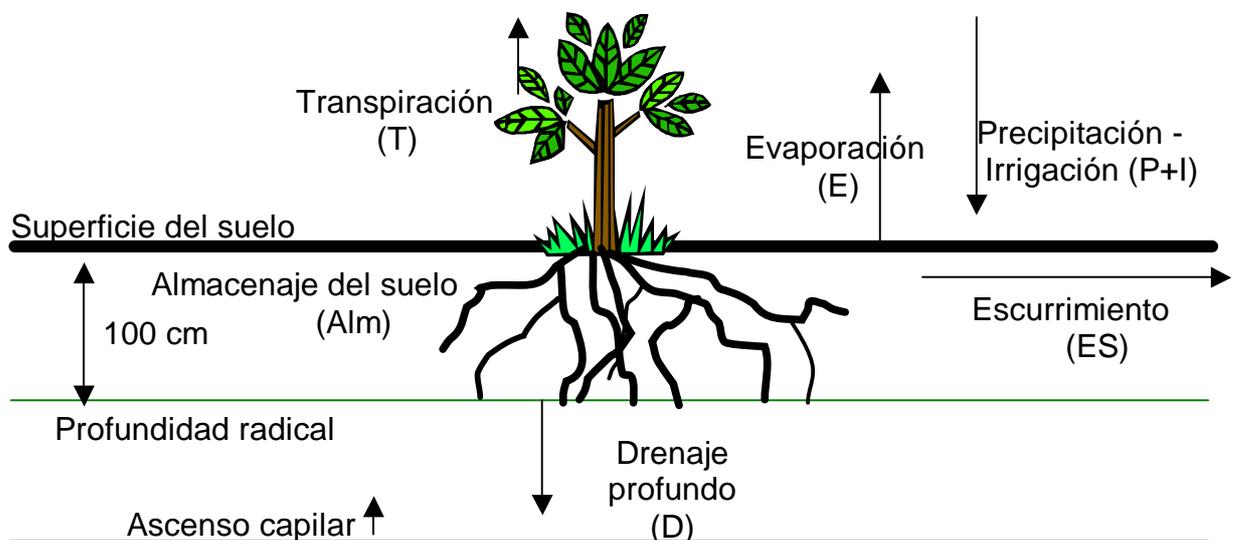
### Balance de agua en el suelo

Con el fin de tener una visión más completa del sistema es necesario comprender el balance de agua del suelo. Si consideramos al perfil del suelo

como un reservorio de agua y conocemos los ingresos y las pérdidas de agua dentro de un sistema cerrado podremos aplicar una ecuación de balance [1]:

$$P + I = ET + R + D \pm \Delta \text{Alm} \quad [1]$$

en donde P e I caracterizan las entradas por precipitación e irrigación artificial, mientras que las pérdidas incluyen a la ET que representa la cantidad de agua perdida por evaporación desde la superficie del suelo y la transpirada por las plantas; ES es el escurrimiento superficial y D el drenaje profundo fuera del alcance radicular (considerado hasta 1 metro normalmente). Finalmente existe un parámetro con signo variable (+/-  $\Delta \text{Alm}$ ) es la variación en el contenido de agua de un suelo (inicial – final) o, dentro de un período dado y para una profundidad dada (Ej. 100 cm). En la figura 1 se observa un esquema de balance de agua del suelo .



Capa freática

Figura 1: Balance de agua del suelo

Al total de agua caída durante una lluvia si se le resta las pérdidas por escurrimiento, obtendremos la precipitación que efectivamente ingresa al suelo. Este ingreso neto de agua al sistema puede minimizarse en áreas con pendiente pronunciada, y alto porcentaje de limo en superficie (>60%). Si a las condiciones naturales se le suma un uso con agricultura continua, las pérdidas por escurrimiento pueden llegar al 60%; típicamente lo que sucede en la región Pampa Ondulada (Casas, 1998). Todas estas vías posibles de pérdidas (ET, D, y R) sin duda deben ser tenidas muy en cuenta a la hora de manejar eficientemente el recurso agua siendo necesario optimizar las entradas y disminuir las pérdidas evaporación y escorrentía y así maximizar la absorción por los cultivos preservando el recurso suelo (Dardanelli 1998). En este la siembra directa al mantener una cobertura superficial y mejorar en el corto plazo la estructura de los primeros cm del suelo mejora las propiedades relacionadas con el balance de agua en el suelo (Micucci et al. 2002).

## **Instrumental necesario y recomendaciones para el muestreo**

Existen muchos métodos para la determinación de la humedad del suelo que van de los más sencillos y costo reducido como es el método gravimétrico o volumétrico, hasta los métodos indirectos con instrumental especializado como son la sonda de neutrones, tensiómetros, lisímetros, etc). El método gravimétrico simplemente consiste en tomar muestras de suelo a las profundidades deseadas, y, una vez pesadas en húmedo se llevan a estufa a 105°C durante 24hs (peso constante) y se calcula la diferencia, como vimos anteriormente en la ecuación [1]. Para expresarlo en forma volumétrica debe hacerse tomando una muestra de suelo en un cilindro de volumen conocido y así obtener el valor de densidad aparente. Luego se calcula de acuerdo a la ecuación [3].

Para realizar el muestreo representativo del potrero deberá observarse el terreno antes de muestrearlo. Si se observan diferencias dentro de un lote (lomas, partes bajas, cambios bruscos de vegetación, etc), del mismo modo si el lote ha recibido distintos manejos (labranzas, cultivos, etc). Se procede a la extracción de las muestras recorriendo el área en zig-zag y se coloca el material en recipientes herméticos o bolsas de polietileno convenientemente selladas para evitar la pérdida de humedad.

Cada uno de los métodos mencionados posee ventajas y desventajas, las cuales deberán tenerse en cuenta a la hora de hacer una elección. Sin embargo, puede afirmarse sin temor a error que no es necesario incurrir en grandes erogaciones cuando un profesional o un productor desean estimar láminas de agua, y calcular así láminas de riego. La estimación de la humedad gravimétrica en estufa es un método de bajo costo, y con bajo índice de error.

### **Bibliografía consultada**

- Casas R.R 1998. Causas y evidencias de la degradación de los suelos en la Región Pampeana. En Hacia una agricultura productiva y sostenible en la pampa. Editada por la Universidad de Harvard, Centro D Rockefeller para estudios latinoamericanos y el CPIA, Argentina.
- Dardanelli J. 1998. Eficiencia en el uso del agua según sistemas de labranzas. p 107-115. En: Panigatti J.L., Marelli H., D Buschiazzo y R. Gil (ed) Siembra Directa. Editorial Hemisferio Sur, INTA.
- Damiano F. Y Taboada M.A . 2000. Predicción del agua disponible usando funciones de pedo-transferencia en suelos agrícolas de la región pampeana. Ciencia del Suelo 18 (2) 77-88.
- 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.
- 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.
- 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. Effectst of no- tillage on chemical and physical characteristics on soil sin Argentina. The 1st. JIRCAS Seminar on Soybean Research. No-tillage Cultivation and Future Research Needs. Iguassu Falls.
- Hanks R.J. y Ashcroft G.L, 1980. Water quantities. In Applied soil physics. Ed. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York.
- Hillel D., 1980. Fundamentals of soil physics. Academic Press-New York
- Marelli, H.J. 1989. La erosión hídrica. Publicación técnica N°1. EEA INTA Marco Juarez. 20pp.
- Micucci F.G, Cosentino D y Taboada M.A . 2002. Impacto de las labranzas sobre los flujos de agua y los tamaños de poros en dos suelos de la pampa ondulada. XVIII CNCS, Puerto Madryn, Argentina.