

# Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo a campo

**García Petillo, M.; Puppo, L.; Hayashi, R.; Morales, P.**

*Facultad de Agronomía, Departamento de Suelos y Aguas/Avda. E. Garzón  
780, 12900 Montevideo/ mgarciap@fagro.edu.uy*

## INTRODUCCIÓN

Para diseñar y operar correctamente un riego se debe conocer la lámina neta (LN) que se deberá aplicar a un determinado cultivo en un determinado suelo. La LN depende de la profundidad del suelo explorado por las raíces, del abatimiento máximo permitido del agua en el suelo ( $p$ ) y de los parámetros hídricos del suelo capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y el agua disponible (AD).

Si bien conocer los parámetros hídricos es imprescindible para regar correctamente, hay pocos proyectos de riego en que los mismos se determinan adecuadamente.

Los mismos se pueden determinar en laboratorio con equipamiento adecuado, pero también se pueden determinar a campo, con una precisión equivalente, con la única condición de tener algunas precauciones metodológicas.

La presente es una guía para determinar esos parámetros a campo. Como éstos no son característicos del suelo en su totalidad, sino de cada horizonte, las determinaciones deben hacerse así. A los efectos de seguir un ejemplo único en toda esta guía, asumiremos que vamos a trabajar en un suelo con un horizonte A de 30 cm de profundidad, y un horizonte B de 20 cm de profundidad. Hasta este límite (50 cm de profundidad) supondremos que hay un desarrollo radicular importante.

## CAPACIDAD DE CAMPO (CC) EN PESO

### Consideraciones generales

Es el contenido de agua que tiene un suelo después que se saturó y drenó libremente por espacio de 24 a 72 horas (cuanto más pesado el suelo, más demora en llegar a CC).

En un suelo saturado todos los poros están ocupados por agua. En un suelo a CC los macroporos perdieron el agua y están llenos de aire, y los microporos están llenos de agua, la que es retenida contra la fuerza de la gravedad.

Este es el límite máximo de agua utilizable por las plantas, y representa el máximo nivel de confort hídrico para los cultivos.

### Metodología para determinarlo

Se elige una zona del terreno representativa de los cuadros a regar.

Se marca una superficie de aproximadamente 1 m x 1 m. Con una azada se elimina toda la vegetación y los primeros cm del suelo.

Se construye un bordo de tierra apisonada de unos 10 cm de altura, rodeando dicho cuadrado.

Se echa agua en el cuadrado de forma de asegurar la saturación del perfil. Si la prueba se hace en un momento de lluvias frecuentes y abundantes, quizás no sea necesario agregar más agua. Por el contrario, si la prueba se hace en un momento de seca, se podrían necesitar más de 140 L de agua.



Foto 1



Foto 2

Se cubre el cuadrado así saturado con un nailon suficientemente grande (aproximadamente 2 x 2 m) para prevenir las pérdidas por evaporación. Los bordes del nailon se cubren con tierra (para evitar la evaporación y que se vuele), y también conviene cubrir con tierra el centro del nailon, previniendo que vientos intensos vuelen el nailon.



Foto 3



Foto 4

Luego de 48 a 72 horas, dependiendo del tipo de suelo, se retira el nailon y se sacan muestras de suelo de cada horizonte (0 a 30 y 30 a 50 cm) de la zona central del cuadrado.

Las muestras se pueden extraer con un taladro holandés, con un taladro de mecha, con una pala de corte, con una palita de jardinero, etc.

Para sacar las muestras del horizonte B con los taladros, se continúa profundizando en los hoyos que ya se hicieron para extraer las muestras del horizonte A. Para hacerlo utilizando las palas, primero se debe sacar el horizonte A con la pala de corte, dejar al descubierto el horizonte B, y entonces sacar una muestra del mismo con la pala de jardinero.



Foto 5



Foto 6

Cada una de las dos muestras, inmediatamente de extraídas, deben ser envasadas de forma de evitar que pierdan agua por evaporación. El mejor envase son las cápsulas de aluminio con tapa. Una vez llenada la cápsula y tapada, se sella la tapa con cinta adhesiva o con cinta aisladora. Si no se dispone de cápsulas, se pueden utilizar frascos con rosca o incluso bolsas de nailon. Cualquiera sea el envase que se use, se debe etiquetar marcando a qué horizonte pertenece la muestra (A o B en este ejemplo).



Foto 7

Las muestras así obtenidas, de suelo con un contenido de agua a CC, deben ser pesadas.

Después de ser pesadas se ponen a secar, y una vez secas se pesan nuevamente, obteniéndose el peso del suelo seco.

### **¿Qué tamaño de muestra extraer?**

La calidad del resultado obtenido dependerá de la precisión de la balanza utilizada para pesar la muestra y del tamaño de la misma. Cuanto más precisa la balanza, menor podrá ser el tamaño de muestra.

Planteémonos como ejemplo que estamos dispuestos a incurrir en un nivel de error máximo del 1%, y analizamos dos balanzas.

Una (de laboratorio) tiene una precisión de 0,01 g. Ese será el error de lectura.

Entonces

1% de error ----- 0,01 g

100% ----- x                       $x = 100 * 0,01 / 1 = 1 \text{ g}$

Otra balanza (de campo) tiene una precisión de 10 g.

1 % de error ----- 10 g

100% ----- x                       $x = 100 * 10 / 1 = 1000 \text{ g}$

O sea que para tener un mismo nivel de error del 1%, el tamaño de muestra variará entre 1 y 1000 g dependiendo de la precisión de la balanza utilizada.

### **¿Cómo se secan las muestras?**

El procedimiento estándar es utilizar una estufa con temperatura constante a 105° C. En el campo este equipo es difícil de obtener, por lo que en su lugar se pueden utilizar:

Un horno de cocina común con termostato, regulándolo lo más bajo posible

Un horno de cocina común sin termostato

Un horno de microondas

Sobre la hornalla de una cocina, o sobre un fuego en el campo.

La precaución es que no se queme la materia orgánica del suelo. Para eso se debe estar pendiente de la muestra durante el proceso de secado. Tan pronto se comience a sentir olor a quemado se debe retirar la muestra del horno o del fuego. El suelo se debe poner bien extendido, tratando de romper los terrones y moviendo periódicamente la bandeja para lograr un secado parejo y sin riesgo de quemar la materia orgánica. Este proceso se mantiene hasta que el suelo esté seco. Esto se logra cuando en dos pesadas sucesivas ya no hay variación de peso de la muestra. De todas formas, visualmente o por medio del tacto, es muy fácil darse cuenta cuando el suelo ya está seco.

### **Cálculo del contenido de agua a Capacidad de Campo (CC)**

El contenido de agua en peso (HP%) a Capacidad de Campo es el peso de agua dividido el peso del suelo seco.

$HP\% \text{ CC} = (\text{Peso Fresco a CC} - \text{Peso Suelo Seco}) / \text{Peso Suelo Seco} * 100$

Tomemos el siguiente ejemplo. Se sacó una muestra del horizonte A que pesó 732 g y una muestra del B que peso 649 g. Se secaron y luego pesaron respectivamente 568 y 495 g.

El contenido de agua a CC en peso de cada horizonte es:

$$\text{HP\% CC (hor A)} = (732 - 568) / 568 * 100 = 29\%$$

$$\text{HP\% CC (hor B)} = (649 - 495) / 495 * 100 = 31\%$$

## **PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE (PMP) EN PESO**

### **Consideraciones generales**

Es el contenido de agua que tiene un suelo cuando el cultivo extrajo toda el agua utilizable. En el suelo queda un cierto contenido de agua, pero tan fuertemente retenida que no es extraíble por el cultivo.

Se pueden hacer determinaciones a campo para determinar este valor, pero estas son bastante engorrosas y sobre todo, toma mucho tiempo (meses) hacerlas.

Por eso este valor se determina, con una muy buena precisión, mediante una regresión.

### **Cálculo del contenido de agua a Punto de Marchitez Permanente (PMP)**

Se estima con la ecuación (Silva et al., 1988):

$$\text{HP\% PMP} = \text{HP\% CC} * 0,74 - 5$$

Siguiendo el ejemplo anterior:

$$\text{HP\% PMP (hor A)} = 29 * 0,74 - 5 = 16\%$$

$$\text{HP\% PMP (hor B)} = 31 * 0,74 - 5 = 18\%$$

## **DENSIDAD APARENTE (DAP)**

### **Consideraciones generales**

Es el peso seco de un suelo dividido el volumen **imperturbado** de ese suelo. Volumen imperturbado se refiere al que ocupa en el suelo sin ser modificado, es decir, manteniendo su porosidad.

La determinación de campo, por lo tanto, consiste en extraer una muestra de suelo y determinar el volumen imperturbado que ocupada dicha muestra.

### **Metodología para determinarla**

Se elige una zona del terreno representativa de los cuadros a regar. Con una azada se elimina toda la vegetación y los primeros cm del suelo de una zona de aproximadamente 50 x 50 cm. La superficie de este cuadrado debe estar perfectamente horizontal, lo que es fundamental para la precisión de los resultados que se logren. Esta horizontalidad del terreno se debe verificar con un nivel de carpintero.





Foto 8



Foto 9

Una vez limpia y nivelada la superficie, con una pala de corte se marca un cuadrado de aproximadamente 20 x 20 cm.

**ATENCIÓN:** La pala de corte se debe clavar en forma vertical, sin hacer palanca, lo que deformaría el pozo a construir y por lo tanto falseando el volumen que ocupaba la muestra.



Foto 10



Foto 11

Una vez marcados los bordes del pozo con la pala de corte, se comienza a extraer el suelo de su interior con una pala de jardinero, colocándolo en una bolsa de nailon, teniendo la precaución que todo el suelo extraído se coloque en la bolsa. Con la pala de jardinero se comienza a excavar en el centro del cuadrado de 20 x 20 y a partir de allí se va avanzando hacia los bordes. Se extrae todo el suelo de ese cuadrado hasta el final del horizonte A (30 cm de profundidad).





Foto 12



Foto 13

Se forra el pozo con nailon. Este debe ser fino, de forma tal que se pegue a las paredes de la excavación. Las bolsas negras de basura, cortadas longitudinalmente, hacen un material adecuado a estos fines.

Se comienza a llenar el pozo con agua, utilizando una probeta o una jarra graduada. Un pozo de unos 20 x 20 x 30 cm tiene un volumen de aproximadamente 12 L. Si mantenemos como válido el criterio ya utilizado de que el error no supere el 1%, esto supone 120 cm<sup>3</sup>. O sea que cualquier jarra con graduaciones cada 50 o 100 cm<sup>3</sup> nos dará una precisión adecuada. El pozo se llena con agua hasta que el nivel de ésta enrasa el nivel del pozo. Es por esto que es muy importante que la superficie del suelo esté perfectamente horizontal.



Foto 14



Foto 15

La tierra extraída de la excavación se deberá secar. Como es muy engorroso secar una cantidad tan grande de tierra, se pesa toda la tierra y, después de mezclarla bien, se extrae una submuestra. Esta submuestra es la que se seca, facilitando mucho la labor.

Si se quiere estimar la DAp del horizonte B, se deberá sacar todo el horizonte A con una pala de corte, en una superficie de por lo menos 50 x 50 cm. Luego, sobre ese horizonte B así descubierto, se repite exactamente la misma metodología.



Foto 16

### **Cálculo de la Densidad Aparente (DAp)**

La DAp se calcula como:  $\text{Peso del suelo seco (g)} / \text{Volumen imperturbado de ese suelo}$ .

Para poder seguir el ejemplo, supongamos que en la prueba obtuvimos los siguientes valores:

Horizonte A

Peso de toda la muestra fresca	17.850 g
Peso de la submuestra fresca	1.320 g
Peso de la submuestra seca	1.100 g
Volumen de agua en el pozo	11.600 cm <sup>3</sup>

Horizonte B

Peso de toda la muestra fresca	16.800 g
Peso de la submuestra fresca	1.260 g
Peso de la submuestra seca	990 g
Volumen de agua en el pozo	9.720 cm <sup>3</sup>

Lo primero es calcular el peso de toda la muestra seca con una simple regla de tres, a partir de peso de la submuestra:

Horizonte A

1.320 g -----	17.850 g	
1.100 g -----	X	$X = 1.100 * 17.850 / 1.320 = 14.875 \text{ g}$

Horizonte B

1.260 g -----	16.800 g	
990 g -----	X	$X = 990 * 16.800 / 1.260 = 13.200 \text{ g}$



Y ahora se calcula la DAp como peso de toda la muestra seca / volumen de agua en el pozo.

Horizonte A       $14.875 / 11.600 = 1,28 \text{ g / cm}^3$

Horizonte B       $13.200 / 9.720 = 1,36 \text{ g / cm}^3$

## **CAPACIDAD DE CAMPO Y PUNTO DE MARCHITEZ PERMANENTE EN VOLUMEN**

### **Consideraciones generales**

Hasta ahora hemos trabajado con los parámetros hídricos en base a peso, es decir, peso del agua dividido peso del suelo seco. Esta medida es de escasa utilidad práctica, ya que imaginemos las dificultades de aplicar un riego de xx kg de agua por tonelada de suelo, p.ej.

Sin embargo, teniendo el dato de DAp, es muy fácil pasar de medidas en peso a medidas en volumen.

### **Metodología para calcularla**

La humedad en peso, multiplicada por la densidad aparente, nos da la humedad en volumen.

La humedad en volumen es equivalente a mm de agua cada 10 cm de profundidad del suelo.

$$HV\% = HP\% * DAp = \text{mm} / 10 \text{ cm}$$

Siguiendo con el ejemplo que veníamos utilizando

$$HV\% \text{ CC (hor A)} = 29 * 1,28 = 37\% = 37 \text{ mm} / 10 \text{ cm}$$

$$HV\% \text{ PMP (hor A)} = 16 * 1,28 = 20\% = 20 \text{ mm} / 10 \text{ cm}$$

$$HV\% \text{ CC (hor B)} = 31 * 1,36 = 42\% = 42 \text{ mm} / 10 \text{ cm}$$

$$HV\% \text{ PMP (hor B)} = 18 * 1,36 = 24\% = 24 \text{ mm} / 10 \text{ cm}$$

## **AGUA DISPONIBLE (AD)**

### **Consideraciones generales**

Es el agua total que puede extraer un cultivo del suelo. Es la diferencia entre el contenido de agua a CC y el contenido de agua a PMP

### **Metodología para calcularla**

$$AD = HV\% \text{ CC} - HV\% \text{ PMP}$$

En nuestro ejemplo:

$$AD \text{ (hor A)} = 37\% - 20\% = 17\% = 17 \text{ mm} / 10 \text{ cm}$$

$$AD \text{ (hor B)} = 42\% - 24\% = 18\% = 18 \text{ mm} / 10 \text{ cm}$$

O sea que el cultivo puede extraer 17 mm de agua cada 10 cm de profundidad del horizonte A, y 18 mm de agua cada 10 cm de profundidad del horizonte B.

Si recordamos que el horizonte A tiene una profundidad de 30 cm y el B de 20 cm, entonces el agua disponible total en los 50 cm del perfil es:

AD (hor A) =  $17 \text{ mm} / 10 \text{ cm} * 3 = 51 \text{ mm}$  en los 30 cm

AD (hor B) =  $18 \text{ mm} / 10 \text{ cm} * 2 = 36 \text{ mm}$  en los 20 cm

AD (todo el perfil) =  $51 + 36 = 87 \text{ mm}$  en los 50 cm de suelo

### **LÁMINA NETA (LN)**

El agua disponible tal cual la calculamos antes es toda la que puede extraer un cultivo de ese suelo.

Sin embargo, mucho antes de que el suelo llegue al Punto de Marchitez Permanente, para el cultivo la extracción se hace dificultosa y comienza a hacer funcionar sus mecanismos de defensa, principalmente el cierre de sus estomas. Este mecanismo previene la deshidratación prematura del cultivo, pero al mismo tiempo significa una disminución de los rendimientos.

Existe un valor llamado Umbral de Riego (UR) o Abatimiento Máximo Permisible ("p"), en que la planta extrae agua sin restricciones, y el contenido de agua hasta ese valor umbral se llama Agua Fácilmente Disponible (AFD).

Cuando estamos hablando de manejar un riego, esa cantidad de agua es la que se conoce como lámina neta (LN).

Este valor depende del cultivo, de su estado fenológico, del tipo de suelo, de la demanda atmosférica, entre otros factores.

El manual N° 56 de la FAO tiene los valores de "p" recomendados para todos los cultivos, pero a título orientativo se podría decir que para soja es 0,50, para maíz 0,50 a 0,55, para sorgo 0,55 y para cultivos forrajeros 0,60.

Entonces, si en el ejemplo que venimos siguiendo el agua disponible total son 87 mm, y supongamos que el cultivo es maíz, pues entonces podemos dejar abatir esa cantidad de agua hasta:

$$87 \text{ mm} * 0,50 = 44 \text{ mm}$$

El cultivo podrá extraer hasta 44 mm en estado de confort hídrico, y luego podrá seguir extrayendo pero ya restringiendo su producción.

Un riego correcto consiste en dejar que el cultivo consuma 44 mm, y entonces aplicar un riego con una Lámina Neta de 44 mm (la cantidad de agua a aplicar será mayor, dependiendo de la eficiencia del equipo de riego). Este ciclo se repetirá cada vez que el cultivo consuma la LN.