

Determinación de conductividad no saturada mediante el método del perfil instantáneo¹

Celerino Quezada L.² y Benjamín Fernández M.³

INTRODUCCION

El conocimiento de la conductividad no saturada permite estimar el componente de drenaje fuera de la zona radicular lo cual facilita la obtención de la evapotranspiración para estudios de tasas de riego, balance de sales o manejo de aguas con el objeto de evitar lixiviación de nutrientes (Van Bavel *et al.*, 1968; Wilcox, 1960). Además es de vital importancia, junto a la tasa de ascenso capilar y al potencial matricial, en aquellas zonas donde se manejan sistemas de riego subsuperficial (Rijtema, 1965). Por otra parte, la movilidad o acumulación de sales está asociada con la conductividad no saturada, el tamaño de poros y la presencia de zonas restrictivas al movimiento de la solución del suelo, de ahí la relevancia que atribuyen Rose y Stern (1965) y Thomas (1970) al componente de drenaje en función del problema de salinidad.

Según Rose *et al.* (1965) el método del perfil instantáneo consiste, esencialmente, en determinar el gradiente de potencial y el contenido de agua en volumen, a determinados lapsos de tiempo después de iniciado el proceso de drenaje interno en el perfil del suelo. La razón entre el flujo de agua y el gradiente hidráulico, para una determinada posición y tiempo, corresponde a la conductividad no saturada, al contenido de agua y succión ma-

tricial determinados en esa posición (Klute, 1972; Watson, 1966).

Hillel *et al.* (1972) establecen que este método se caracteriza por prevenir la evaporación del suelo para desarrollar condiciones exclusivas de drenaje interno y por no ser aplicable en suelos con apreciable movimiento lateral de agua.

En este trabajo se presenta el método del perfil instantáneo *in situ* para la determinación de la conductividad no saturada, analizando al mismo tiempo sus principales ventajas y limitaciones de tipo experimental. El método fue probado en un suelo de secano de la zona costera de la provincia de Concepción (serie Cauquenes) dedicado al cultivo de la vid.

MATERIALES Y METODOS

Siguiendo el método del perfil instantáneo de Watson (1966) e Hillel *et al.* (1972) se estableció en el terreno una parcela de 5 × 5 metros, descubierta de vegetación, en cuyo centro se hincó hasta una profundidad de 2 metros un tubo de cobre de 2 pulgadas de diámetro. Distante 70 cm del tubo se ubicaron, a diferentes profundidades en el perfil, siete tensiómetros de investigación para mediciones periódicas de succión matricial.

La parcela se regó a saturación y luego fue cubierta con polietileno y suelo suelto para prevenir la evaporación y, por ende, mantener condiciones exclusivas de drenaje interno. A continuación se realizaron lecturas simultáneas de contenido de agua en volumen (θ) y succión matricial (Ψ_m) a diferentes profundidades, en función del tiempo de drenaje. Los intervalos de lectura fueron au-

¹Trabajo basado en la Tesis presentada por el primer autor para optar al Grado de Magister Scientiae, mención en Suelos en la Escuela de Agronomía de la Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

Recepción originales: 7 de octubre de 1976.

²Ing. Agr., M. S., Universidad de Chile, Casilla 933, Osorno, Chile.

³Ing. Agr., M. S., Departamento de Suelos, Escuela de Agronomía, Universidad de Concepción, Chillán, Chile.

mentando con respecto al tiempo de drenaje a medida que disminuía el movimiento de agua en el perfil. Las lecturas se efectuaron a los 1,12 - 4,95 - 19,89 - 41,89 - 70,91 y 111,81 días, siendo los intervalos de 3,83 - 14,94 - 22,00 - 29,02 y 40,99 días.

El contenido de agua en volumen se determinó mediante un neutrómetro Troxler Modelo 2651, Serie 2600, a profundidades de 30 - 60 - 90 - 120 - 150 y 175 cm. Con este fin se confeccionó una curva de calibración de contenido volumétrico de agua versus relación de conteo suelo: carcasa o conteo relativo (CR) en base a determinaciones de porcentaje de humedad base peso seco, a profundidades de 24 - 29 - 44 - 59 - 74 - 89 - 104 - 119 - 134 - 154 - 164 y 174. Ambas variables se relacionaron según la siguiente ecuación:

$$\theta = -25,55 + 59,45 \text{ CR}$$

$$r = 0,814$$

La densidad aparente se obtuvo por el método del terrón y por horizonte a tensiones de 0,33 - 3,0 y 10,0 bar.

La succión matricial se midió mediante tensiómetros de investigación ubicados de acuerdo a la descripción del perfil, a profundidades de 15 - 30 - 60 - 90 - 120 - 150 y 175 cm.

Una vez determinado el contenido de agua en volumen, a partir de la curva de calibración, se obtiene la densidad de flujo para cada incremento de profundidad mediante la siguiente relación:

$$q = \frac{\Delta \theta}{\Delta t} z = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1} z$$

donde:

- q = densidad de flujo en cm³/cm²/día
- Δθ = variación del contenido de agua en volumen en función del tiempo en cm³/cm³
- Δt = tiempo transcurrido en días
- z = incremento de profundidad en cm.

La conductividad no saturada se determina por estratas según procedimiento establecido por De Boodt *et al.* (1967), utilizando la siguiente ecuación:

$$k = \frac{q}{\partial H / \partial z}$$

donde:

- k = conductividad no saturada en cm/día
- q = densidad de flujo en cm³/cm²/día
- H = carga hidráulica en cm
- z = profundidad en cm

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores de conductividad no saturada presentados en el Cuadro 1 en función del contenido de agua en volumen (Figura 1) señalan que la conductividad aumenta significativamente a medida que aumenta el contenido de agua en volumen para todas las profundidades, pero sin mostrar una variación definida con la profundidad. Dichos valores fluctúan entre $3,2 \times 10^{-4}$ y 0,345 cm/día, indicando un movimiento de agua extremadamente lento debido a que este suelo posee un 50 a 60% de poros menores de 0,20 micrones, lo cual crea una marcada impedancia

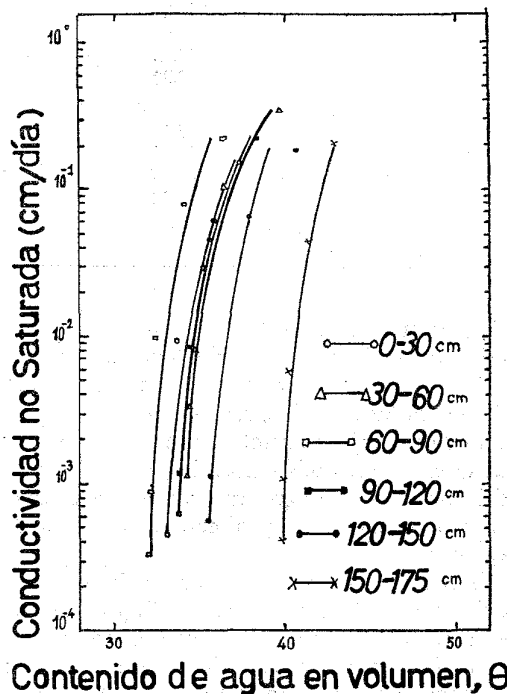


Figura 1 — Conductividad no saturada en función del contenido de agua en volumen para los diferentes incrementos de profundidad.

Cuadro 1 — Conductividad no saturada en función de la profundidad para los diferentes incrementos de tiempo.

Prof. (cm)	Δt (días)	q (cm ³ /cm ² /día)	$\partial H/\partial z$ (cm/cm)	h (cm/día)
30	3,83	0,153	1,008	0,151
	14,94	0,0417	1,302	0,032
	22,00			
	29,02	0,00062	1,344	0,00046
	40,90	—	1,386	—
60	3,83	0,232	0,672	0,345
	14,94	0,0644	0,588	0,109
	22,00	0,00409	0,483	0,0084
	29,02	0,00237	0,693	0,0034
	40,90	0,000953	0,735	0,0012
90	3,83	0,130	0,615	0,211
	14,94	0,0548	0,672	0,081
	22,00	0,00654	0,672	0,0097
	29,02	0,00062	0,714	0,00086
	40,90	0,00022	0,672	0,00032
120	3,83	0,181	0,815	0,222
	14,94	0,0489	0,819	0,060
	22,00	0,00886	1,071	0,0083
	29,02	0,00124	1,050	0,00118
	40,90	0,000586	0,945	0,00062
150	3,83	0,171	0,899	0,190
	14,94	0,0678	1,008	0,067
	22,00	0,0490	1,197	0,041
	29,02	0,00124	1,092	0,00113
	40,90	0,00066	1,134	0,00058
175	3,83	0,185	0,921	0,200
	14,94	0,0359	0,805	0,044
	22,00	0,00572	1,006	0,0056
	29,02	0,00124	1,236	0,0010
	40,90	0,000586	1,435	0,000408

al flujo no saturado. Por lo anterior, la densidad de flujo en suelos de textura arcillosa o franco-arcillosa tiende a ser constante a partir de los 30 días después de iniciado el proceso de drenaje interno, siendo adecuado que en tales condiciones texturales las mediciones del contenido de agua en volumen y de succión matricial no se prolonguen más allá de ese período.

Tampoco es posible asociar la distribución del tamaño de las partículas (Figura 2) con el flujo no saturado, en función de la profundidad, en un suelo serie Cauquenes caracterizado por porcentajes uniformes de arcilla y variaciones más significativas del porcentaje de arena, sobre todo entre los 60 y 90 cm de profundidad. No obstante el conocimien-

to de la estratigrafía del perfil es imprescindible para determinar la profundidad de instalación del tubo de acceso y establecer las profundidades de medición, tanto del neutrómetro como de los tensiómetros de investigación, de modo de evitar lecturas entre límites de horizontes.

En la Figura 3 se presenta la conductividad no saturada en función de la succión matricial y de su inspección se concluye que la conductividad disminuye con el aumento de la succión matricial, para todas las profundidades, por la disminución de la sección transversal disponible para el flujo de agua y aumento del factor de tortuosidad. Además, no existe una relación determinada de la conductividad en función de la profundidad pa-

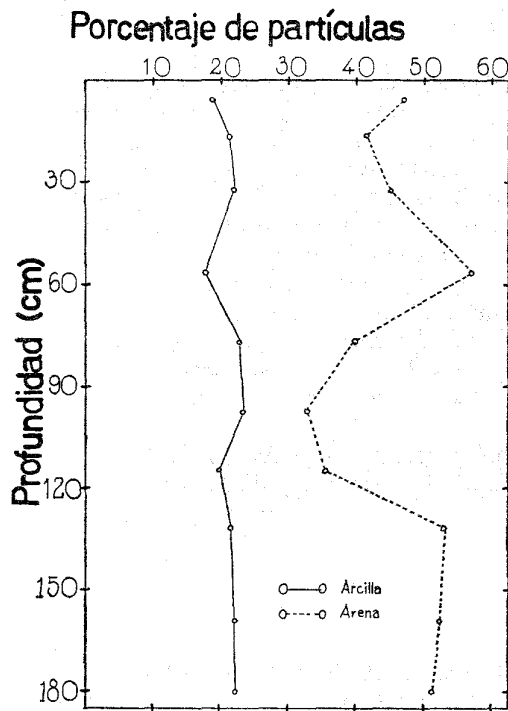


Figura 2 — Distribución de las partículas por su tamaño en función de la profundidad.

ra el rango de 0 a 105 cm de agua, lo que concuerda con lo expresado por Shyr-Yaung y Tsen-Tuo (1963).

Las pequeñas variaciones de la conductividad no saturada en función de la profundidad se pueden explicar por diferencias de textura, densidad aparente y estructura, ya que el efecto de histéresis disminuye con la profundidad (Staple, 1965).

Al probar el método en una zona de seco con altas temperaturas medias es necesario controlar con frecuencia el funcionamiento de los tensiómetros de investigación, así como minimizar el efecto térmico sobre la redistribución de la humedad en el horizonte superior con lecturas simultáneas a la misma hora y en el mismo orden temprano en la mañana y con una buena capa aislante entre la superficie del suelo y el medio ambiente (polietileno, suelo suelto y paja). Entre las ventajas que surgen después de haber ensayado el método por más de seis meses (septiembre a marzo) destacan su rapidez, exactitud, confiabilidad y mayor aplicabilidad a la solución de problemas de campo, a pesar de

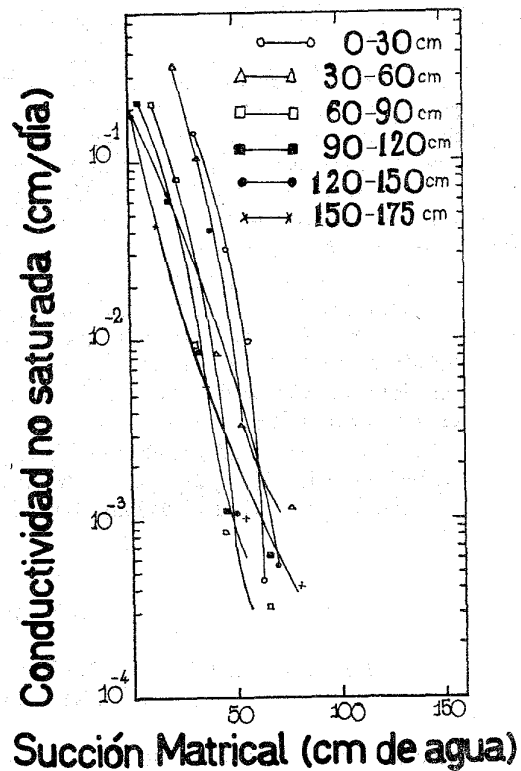


Figura 3 — Conductividad no saturada en función de la succión matricial para los diferentes incrementos de profundidad.

presentar las limitantes experimentales del rango de medición de los tensiómetros (menor de -800 cm de agua) especialmente en suelos de alta capacidad de retención y el de no ser aplicable en suelos de pendientes altas por el movimiento lateral de agua. Además tiene un alto costo inicial por concepto de instrumental.

La importancia del método del perfil instantáneo radica en su utilización para el cálculo del componente de drenaje fuera de la zona radicular y posterior determinación de la evapotranspiración mediante el balance hídrico. Con esto se pretende aumentar la eficiencia de uso de los fertilizantes y del agua de riego en zonas con problemas de abastecimiento o con limitados aportes pluviométricos y que emplean sistemas de riego de alta eficiencia en función de la fenología del cultivo. Sin embargo, es indispensable seguir probando el método en diferentes condiciones de suelo y clima y también calibrarlo con algunos métodos de laboratorio.

R E S U M E N

En un suelo granítico de la zona costera de la provincia de Concepción, Chile (serie Cauquenes, franco-arcilloso) se determinó la conductividad no saturada mediante el método del perfil instantáneo. El contenido de agua en volumen se determinó usando un neutrómetro Troxler Modelo 2651, Serie 2600 y la succión matricial mediante tensiómetros de investigación a profundidades de 30 — 60 — 90 — 120 — 150 y 175 cm. Tanto el contenido de agua, como la succión matricial se obtuvieron en función del tiempo y en condiciones exclusivas de drenaje interno.

Los valores de conductividad no saturada ($3,2 \times 10^{-4}$ a $0,345$ cm/día) revelaron una marcada impedancia al flujo de agua debido a alto porcentaje de poros menores de 0,20 micrones (aproximadamente 60%). Por lo anterior, las mediciones en suelos de texturas finas no deben prolongarse por más de 30 días. Este parámetro se relaciona en forma directa con el contenido de agua en volumen e inversamente con la succión matricial.

La aplicación de esta metodología requiere del conocimiento previo de la estratigrafía del perfil para determinar las profundidades de medición y de la pendiente del terreno para evitar el drenaje lateral.

S U M M A R Y

DETERMINATION OF UNSATURATED CONDUCTIVITY BY THE INSTANTANEOUS PROFILE METHOD

The unsaturated conductivity of a granitic soil located in the coastal area of the VIII Region, Chile, were determined by the instantaneous profile method. Moisture contents at different depths and times were determined with a Troxler neutron-meter (Model 2651, Series 2600). Matric suctions at depths of 30 — 60 — 90 — 120 — 150 and 175 cm were measured at different times by means of tensiometer readings. Volumetric water contents as well as tensiometer readings were obtained under conditions of internal drainage alone (evapotranspiration prevented).

The unsaturated conductivity values (3.2×10^{-4} to 0.345 cm/day) revealed a marked impedance to unsaturated flow. This was due to the higher percentage of soil pores smaller than 0.20 microns (around 60%). On account of, the measurements in fine texture soils must not long as many as 30 days. The unsaturated conductivity is directly dependent on volumetric wetness and inversely to the matric suction.

To apply this method in the field, is convenient to know the profile characteristics and soil slope. This is essential to determine the reading depths and to minimize the lateral drainage.

LITERATURA CITADA

- DE BOODT, M., HARTMANN, R. and DE MEESTER. 1967. Determination of soil-moisture characteristics for irrigation purposes by neutron-moisture meter and air-purged tensiometers. In: Symposium on Isotope and Radiation Techniques in Soil Physics and Irrigation Studies, Istanbul, 12-16 June 1967. Proceedings. Vienna, Austria. International Atomic Energy Agency. pp. 147-160, (STI/PUB/158).
- HILLEL, D., KRENTOS, V. D. and STYLIANOU, Y. 1972. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics *in situ*. Soil Science 114 (5): 395-400.
- KLUTE, A. 1972. The determination of the hydraulic conductivity and diffusivity of unsaturated soils. Soil Science 113 (4): 264-276.
- RIJTEMA, P. E. 1965. An analysis of actual evapotranspiration. Wageningen, Netherlands, Institute for Land and Water Management Research. 107 p. (Agricultural Research Report 659).
- ROSE, C. W. and STERN, W. R. 1965. The drainage component of the water balance equation. Australian Journal of Soil Research 3:95-100.

- , -----, and DRUMMOND, J. E. 1965. Determination of hydraulic conductivity as a function of depth and water content for soil *in situ*. Australian Journal of Soil Research 3: 1-9.
- SHYR-YAUNG, LIN and TSEN-TUO, CHEN. 1963. Measurements of capillary conductivity for a Taiwan latosol and alluvial soils. Soil Science Society of America. Proceedings 27 (2): 127-130.
- STAPLE, W. J. 1965. Moisture tension, diffusivity, and conductivity of a loam soil during wetting and drying. Canadian Journal of Soil Science 45 (1): 78-86.
- THOMAS, G. W. 1970. Soil and climatic factors which affect nutrient mobility. In: O. P. Engelstad. Nutrient mobility in soils: Accumulation and losses. Madison, Wisconsin, Soil Science Society of America. Proceedings. pp. 1-20.
- VAN BAVEL, C. H. M., STIRK, G. B. and BRUST, K. J. 1968. Hydraulic properties of a clay loam soil and the field measurements of water uptake by roots. I. The water balance of the root zone. Soil Science Society of America. Proceedings 32 (3): 317-321.
- WATSON, K. K. 1966. An instantaneous profile method for determining the hydraulic conductivity of unsaturated porous materials. Water Resources Research 2 (4): 709-715.
- WILCOX, J. C. 1960. Rate of soil drainage following an irrigation. II. Effects on determination of rate of consumptive use. Canadian Journal of Soil Science 40 (1): 15-27.