

RELACIÓN ENTRE EL CONTENIDO HÍDRICO Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN EN UN SUELO CON CARACTERÍSTICAS VÉRTICAS

M.G. WILSON¹; O.R. VALENZUELA¹; M.A. PILATTI² y O. FELLI²

RESUMEN

Es necesario distinguir las propiedades físicas del suelo que afectan directamente el crecimiento vegetal de aquellas que lo hacen en forma indirecta. El objetivo del trabajo fue evaluar la resistencia a la penetración y su relación con el contenido hídrico como factores que inciden directamente sobre el crecimiento vegetal, en un suelo con características vérticas. La función matemática que relaciona con un buen ajuste estas dos variables es una exponencial negativa. A partir de la ecuación, fue posible calcular la dinámica de la resistencia a la penetración durante el ciclo de un cultivo de trigo, para los diferentes momentos en que se determinaron los contenidos hídricos del suelo, pudiendo relacionar ambos con el crecimiento radical.

Se concluye que la resistencia a la penetración calculada a partir del contenido hídrico influyó en el crecimiento del sistema radical, por lo que podría ser utilizada para estudiar la dinámica de la densidad de raíces en diferentes estados fenológicos de los cultivos. En este trabajo sólo se aborda uno de los límites críticos para el crecimiento de raíces como es la resistencia a la penetración cuando el contenido de agua es bajo, por lo que su uso presenta dichas limitaciones.

Palabras clave. Resistencia a la penetración – Contenido hídrico del suelo. Crecimiento de raíces.

SOIL WATER CONTENT RELATED TO MECHANICAL RESISTANCE IN VERTIC SOILS

SUMMARY

Some soil physic features are directly related to vegetal growth while others are not, it is worth to discriminate between them. The main purpose of present research work was to evaluate mechanical resistance and its relation with soil water content as factors directly connected to vegetal growth, in vertic features soils. A negative exponential mathematical function relates properly both variables.

By means of the equation, it was possible to calculate dynamic mechanical resistance and soil water content throughout different instances of a wheat cycle. Mechanical resistance related to soil water content has influence on root system growth, therefore it can be used to study root density dynamics in different phenologyc stages. The data from current research work are restricted to instances dealing with just one of critical limits of root growth, as mechanical resistance is, when soil water content is low.

Key words. Mechanical Resistance – Soil water content – Root growth.

INTRODUCCIÓN

Al considerar las propiedades físicas del suelo de importancia en la producción de cultivos, es necesario distinguir aquellas que afectan directamente el crecimiento vegetal de las que lo hacen en

forma indirecta. El agua, el oxígeno, la temperatura y la resistencia a la penetración lo hacen en forma directa; mientras que indirectamente actúan la densidad del suelo, la textura, la estructura, la estabilidad de agregados y la distribución del espacio poroso (Letey, 1985).

¹ Departamento Ciencias de la Tierra. Facultad Ciencias Agropecuarias, UNER. CC24 - 3100 Paraná (ER). E-mail: valenzue@fea.uner.edu.ar y mwilson@fea.uner.edu.ar

² Cátedra Edafología. Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNL. Kreder 2805 – 3080 Esperanza (Santa Fe). E-mail: mpilatti@unl.edu.ar

Las funciones de las raíces son afectadas además por otros factores, tales como la deficiencia y desbalance de nutrimentos, toxicidad de agentes químicos, ataque de patógenos e insectos. Estos factores físicos, químicos y biológicos interactúan entre sí, por lo que las plantas no presentan siempre una misma respuesta (Miller, 1986). Ehlers *et al.* (1983), establecieron un sistema de ecuaciones que relacionan la resistencia a la penetración (**RP**) con el contenido hídrico del suelo en forma lineal negativa, y observaron un comportamiento similar entre **RP** y el crecimiento del sistema radical de avena. Dexter (1987), a través de distintas ecuaciones relacionó los valores de la tasa relativa de elongación radical con la variación del potencial agua del suelo y **RP**. Los modelos que propone combinan estudios fisiológicos (presión crítica de pared celular, equilibrio hídrico interno y externo de la célula) con la conducta observada en mediciones de campo con penetrómetros.

Por otro lado, ningún estrés causado en el suelo es experimentado igualmente por la totalidad del sistema radical, pues las raíces presentes en el ambiente más favorable tienen un mayor crecimiento respecto a las ubicadas en un ambiente desfavorable (Russel, 1977). En definitiva, la cantidad y distribución de las raíces en el perfil del suelo es el resultado de una función agroecológica en la que interactúan el clima, el suelo, el genotipo y el sistema de prácticas culturales utilizado. El objetivo del trabajo fue evaluar la resistencia a la penetración y su relación con el contenido hídrico como factores que inciden directamente sobre el crecimiento vegetal, en un suelo con características vérticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se instaló en un lote de producción comercial de trigo en el primer año de siembra directa en un suelo Argiudol vértico perteneciente a la serie General Racedo de la provincia de Entre Ríos.

Con la finalidad de caracterizar el suelo físicamente, se tomaron en antesis muestras al azar sin alterar. Para los primeros 5 cm de suelo y el resto del horizonte Ap se obtuvieron 3 repeticiones con un total de 8 cilindros (7 cm de diámetro y volumen de 197,92 cm³) por repetición, mientras que para el resto de los horizontes a razón

de 8 cilindros. Se determinó la densidad del suelo (**Ds**) por el método del cilindro (Forsythe, 1975), utilizando un contenido hídrico de referencia (6 kPa) a fin de eliminar la variabilidad debida a los cambios de volumen que ocurre en los suelos con características vérticas a distinto potencial agua.

La **RP** se midió con un penetrómetro de punta cónica de 30° de semiángulo y 1 mm de diámetro (Whiteley *et al.*, 1981, citado por Orellana, 1989). Las muestras fueron llevadas a saturación (**θs**) y se secaron lentamente, tomando lecturas periódicas de **RP** y **θ**. Los valores alcanzados por las variables se aplicaron en una ecuación exponencial negativa obtenida experimentalmente por Orellana (1989).

La ecuación (1) $y = a \cdot \exp(-c \cdot x)$, relaciona el contenido hídrico del suelo y la resistencia a la penetración, donde $y = RP$, $x = \theta/\theta_s$ (contenido hídrico relativo), mientras que a y c son coeficientes de la ecuación.

Diferentes investigaciones indican que los valores obtenidos para evaluar **RP** utilizando este tipo de penetrómetros son de 3 a 10 veces más altos que la fuerza mecánica ejercida por las raíces, dependiendo del tipo de suelo y de las especies vegetales (Dexter, 1987). Orellana y Pilatti (1990), mencionan que la presión medida con este tipo de penetrómetros es en promedio 4 veces mayor que la ejercida por las raíces (0,9 a 1,5 MPa). Por lo tanto, **θRP** es el contenido hídrico a 6 MPa, y se lo considera como valor límite para el crecimiento radical.

Durante el ciclo del cultivo, cada 15 días aproximadamente, se determinó el contenido hídrico del suelo (**θ**) para los distintos horizontes por el método gravimétrico, transformándose a valores volumétricos.

En un trabajo previo desarrollado en el mismo ensayo, Wilson y Valenzuela (1998), cuantificaron el sistema radical en encañazón y antesis por el método pared del perfil. Esta información fue tomada para discutir la relación entre el crecimiento del sistema radical y **RP**.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las mejores condiciones para el crecimiento radical se dieron en los primeros 5 cm de suelo con 1,15 Mg.m⁻³ de **Ds** y 0,201 cm³ cm⁻³ de **θRP**. Ambas variables aumentaron en profundidad, correspondiendo a los horizontes B₁₁, B₁₂ y BC la mayor **Ds** (≥1,45 Mg.m⁻³) y a los horizontes B₁ los valores más altos de **θRP** (Cuadro N° 1).

Cuadro N° 1. Caracterización física del perfil de suelo.

Horizontes (cm)	Textura	Ds (Mg m ⁻³)	θ _{RP} (cm ³ cm ⁻³)	Coeficientes de la ecuación (1)		R ²
				a	c	
Ap (00-05)	Franco-limoso	1,15	0,201	30,2	-4,5	0,76
Ap (05-20)	Franco-arcillo-limoso	1,29	0,299	233,5	-6,2	0,90
BA (20-25)	Franco-limoso	1,33	0,356	454,6	-5,9	0,91
B ₁₁ (25-55)	Arcillo-limoso	1,46	0,419	998,5	-5,3	0,95
B ₁₂ (55-85)	Arcillo-limoso	1,54	0,396	859,1	-5,1	0,93
BC (85-105)	Arcillo-limoso	1,45	0,335	360,6	-5,4	0,75

DS: Densidad del suelo; θ_{RP}: Contenido hídrico a 6 MPa.

Se observa que la función matemática que relaciona RP y θ presenta un buen ajuste para la totalidad de horizontes del suelo. Del Cuadro N° 1 y la Fig. 1 se deduce que en los horizontes B₁ las raíces encontraron mayores dificultades para explorar el suelo, ya que el límite crítico θ_{RP} se alcanza a contenidos hídricos mayores que en los horizontes superficiales.

En el Cuadro N° 2 se presenta la variación del contenido hídrico en el perfil de suelo durante el ciclo del cultivo.

El cultivo comenzó su desarrollo con un buen contenido hídrico en el perfil, con aportes pluviométricos hasta encañazón (75 DDS). Durante el período encañazón-antesis no se registraron lluvias, produciéndose un desecamiento generalizado en la totalidad de los horizontes, observándose grietas.

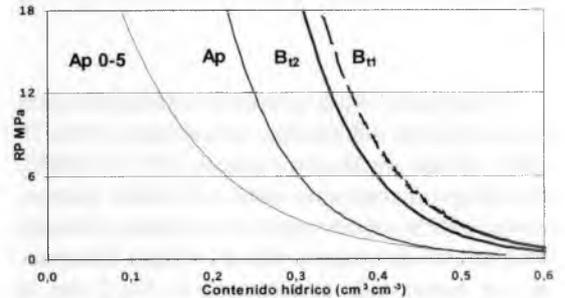


Figura 1. Relación entre la resistencia a la penetración y el contenido hídrico del suelo para diferentes horizontes.

A partir de la Ecuación (1), fue posible calcular la dinámica de RP durante el ciclo del cultivo de trigo, para los distintos momentos en que se determinaron los contenidos hídricos del suelo (Fig. 2).

Cuadro N° 2. Contenido hídrico (cm³ cm⁻³) en el perfil de suelo durante el ciclo del cultivo.

Prof. (cm)	DDS									
	11	26	38	48	68	88	107	114	140	148
00-05	0,198	0,271	0,167	0,336	0,331	0,147	0,103	0,101	0,163	0,235
05-20	0,384	0,416	0,342	0,299	0,319	0,250	0,257	0,286	0,375	0,319
20-40	0,408	0,440	0,344	0,384	0,440	0,309	0,337	0,311	0,404	0,392
40-60	0,549	0,533	0,517	0,530	0,436	0,427	0,344	0,316	0,426	0,353
60-80	0,515	0,500	0,473	0,519	0,380	0,406	0,336	0,312	0,423	0,318
80-100	0,414	0,404	0,327	0,430	0,300	0,342	0,279	0,251	0,366	0,273

DDS: días desde la siembra

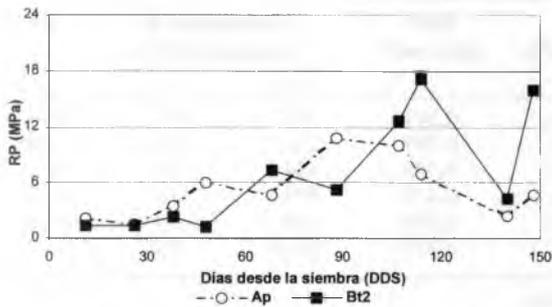


Figura 2. Dinámica de la resistencia a la penetración durante el ciclo del cultivo en los horizontes Ap y Bt₂.

El horizonte Ap no presentó restricciones para el crecimiento del sistema radical hasta el día 75 DDS. Desde encañazón a antesis (75-114 DDS), disminuyó el contenido hídrico del suelo, aumentando la RP a valores superiores al límite crítico de crecimiento del sistema radical (6 Mpa). Esto puede ser contrastado al relacionar la Fig.2 con la distribución del sistema radical (Fig. 3), donde se observa que durante el período mencionado el cultivo no experimentó crecimiento radical para el horizonte Ap (sólo en los primeros 5 cm de suelo existieron diferencias de densidad radical altamente significativas entre ambos estados fenológicos).

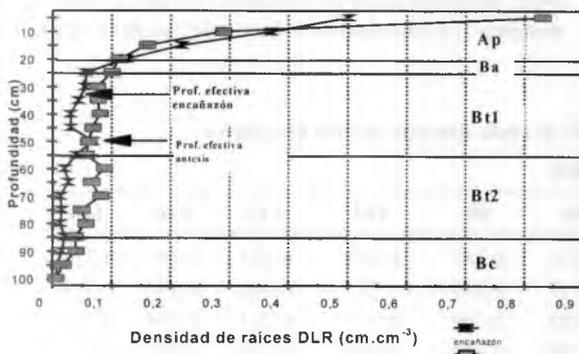


Figura 3. Distribución del sistema radical del cultivo de trigo en encañazón y antesis (Wilson y Valenzuela, 1998).

Para el horizonte B_{t2}, la RP comenzó a ser crítica luego de los 90 DDS, lo que permitió un incremento en el sistema radical en los primeros días del período encañazón – antesis (Fig. 3). A su vez, cabe destacar que si bien al secarse el suelo la RP aumentó a valores extremos, las raíces continuaron su exploración debido a la presencia de grietas (Orellana y Pilatti, 1990). Las diferencias de densidad de raíces entre antesis y encañazón fueron muy altamente significativas ($P < 0,001$) atribuibles a lo expuesto anteriormente.

En suelos con características vérticas, el contenido hídrico afecta la densidad del suelo debido a los procesos de contracción y expansión de las arcillas que lo constituyen, lo que debería tenerse en cuenta en próximos estudios a fin que el cálculo de θ sea obtenido con mayor precisión (Greacen y Gardner, 1982).

Las plantas crecen dentro de un “rango de agua no limitante”, limitado por la resistencia a la penetración y por la aireación cuando el contenido de agua es bajo o alto respectivamente (Letey, 1985). Este concepto fue desarrollado experimentalmente y conocido como *intervalo hídrico óptimo* (Orellana *et al.*, 1997). Estos autores toman como límite inferior a θ_{RP} o θ_{FU} (por debajo del cuál el agua está disponible para las plantas con restricciones) y como límite superior a θ_a que es el contenido hídrico luego de escurrido el suelo. En este trabajo sólo se aborda uno de los límites críticos para el crecimiento de raíces, por lo tanto su uso presenta tales limitaciones.

CONCLUSIONES

La resistencia a la penetración calculada a partir del contenido hídrico influyó en el crecimiento del sistema radical, por lo que podría ser utilizada para estudiar la dinámica de la densidad de raíces en diferentes estados fenológicos de los cultivos.

BIBLIOGRAFÍA

- EHLERS, W.; U. HÖPKE; F. HESSE and W. BÖHM. 1983. Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil & Tillage Research* 3:261-275.
- DEXTER, A. R. 1987. Mechanics of root growth. *Plant and Soil* 98:303-312.
- FORSYTHE, W. 1975. Física de suelos. IICA, San José. Costa Rica. 212p.
- GREACEN, E. L. and E. A. GARDNER. 1982. Crop behaviour on clay soil. *Tropic. Agric. (Trinidad)* 59(2):123-132.
- LETEY, J. 1985. Relationship between soil physical properties and crop production. In: *Advances in Soil science*. Volume I. Edited by B.A. Stewart. Springer-Verlag New York, Inc. 277-294.
- MILLER, D. E. 1986. Root systems in relation to stress tolerance. *Hort. Science* 21(4):963-970.
- ORELLANA, J. A. de. 1989. Expansibilidad y penetrabilidad de un horizonte B2t con enmiendas cálcicas. *Ciencia del suelo* 7(12): 107-111.
- ORELLANA, J. A. de y M. A. PILATTI. 1990. Aplicaciones de enmiendas cálcicas a un horizonte B2t. *Ciencia del suelo* 8(2): 127-133.
- ORELLANA, J. A. de; M. A. PILATTI and D. A. GRENON. 1997. Soil quality: An approach to physical estate assessment. *Journal of Sustainable Agriculture* 9(2/3):91-108.
- RUSSEL S. R. 1977. Plant root system: their function and interaction with the soil. Mc. Graw – Hill Book Company. Great Britain. 298 p.
- WILSON, M. G. y O. R. VALENZUELA. 1998. Evaluación del sistema radical del cultivo de trigo mediante dos métodos de medición. *Revista Científica Agropecuaria* 2: 29-35.