



Factores que influyen en los cambios de la resistencia mecánica del suelo

Carlos A.E. Patiño⁽¹⁾

SUMMARY

"FACTORS INFLUENCING CHANGES IN MECHANICAL SOIL RESISTANCE"

Changes in the mechanics resistance of the soil (hardness) in relation with the humidity contents and the grain size are studied. Results were compared with representatives soil texture of the Eastern Chaco region and the pluviometric regime and biological activities.

INTRODUCCION

El suelo es un sistema polifásico en el cual se integran tres fases fundamentales: sólida, líquida y gaseosa (Lambe, 1979).

Sus interrelaciones dinámicas, ponderables por las variaciones en volumen y peso de cada una de las fases, ejercen una influencia capital sobre la consistencia del suelo.

A su vez, el concepto de consistencia comprende las manifestaciones de fuerzas físicas de cohesión y adhesividad, que se expresan como: primero, el comportamiento ante la gravedad, el empuje y la tracción, y, en segundo término, la tendencia de la masa del suelo a adherirse a un cuerpo extraño.

Según esta definición, la consistencia del suelo es, principalmente, la resistencia a la deformación de los materiales que lo componen. Esto incluye variables tales como su valor soporte frente a cargas aplicadas o el esfuerzo que exige a la penetración de cuerpos extraños.

(1) Centro de Ecología Aplicada del Litoral (CECOAL); Universidad Nacional de Formosa (UNaF). C.C. 291 (3400) Corrientes -Argentina-

Valores elevados de impedancia mecánica pueden condicionar negativamente las posibilidades de expansión de los sistemas radiculares, afectando, en consecuencia, el desarrollo de las partes aéreas de las plantas.

La impedancia mecánica o, en términos prácticos, la resistencia del suelo a la penetración (valor R) es una magnitud que resulta de su eventual compactación, del contenido de humedad y de su textura (Baver, 1973).

Estas dos últimas variables son las más eficaces para acotar sus límites, ya que la compactación natural del suelo es poco frecuente y responde a perturbaciones como, por ejemplo, la formación de costras superficiales endurecidas por el impacto de las lluvias.

Si bien las variaciones en el contenido de agua determinan, en principio, la dureza del suelo, su magnitud es interdependiente con la relación porcentual de las fracciones arenas, limos y, fundamentalmente, arcilla existente en cada capa del perfil.

Esto significa que un mismo contenido de humedad puede tener efectos disímiles si hay cambios discretos en la textura, manifestándose no sólo entre suelos distintos, sino también en un mismo perfil, cuando posee horizontes B2 argílicos, en comparación con las capas supra y subyacentes de granometría más gruesa (horizontes A y C).

Conexo con el proceso modificadorio de R , el predominio de la fracción pelvíca produce un incremento importante en el potencial matricial de retención hídrica, que deriva en un mayor gasto energético de las plantas para absorber la humedad edáfica.

El objetivo de este trabajo es cuantificar, con carácter de aproximación, las modificaciones en los valores de la resistencia mecánica relacionados con diferentes contenidos de humedad y clases de textura en suelos típicos de los ambientes naturales del Chaco Oriental.

Esta región queda definida al norte por el río Pilcomayo; al sur por el paralelo de $28^{\circ}30'$; al oeste por el meridiano de 60° y al este por el eje Paraguay-Bajo Paraná y comprende las cuencas autóctonas del Chaco Oriental.

MATERIALES Y METODO

Considerando que el uso del penetrómetro provee una buena estimación de la resistencia del suelo al desarrollo de las raíces (Bengough, 1990), fueron efectuados ensayos de penetración en campo y laboratorio, para evaluar la resistencia del suelo a la presión no confinada.

Para el primer caso, se seleccionaron suelos representativos, procurando cubrir la gama principal de texturas; se extrajeron monolitos con medidas aproximadas de $0,20 \times 0,20 \times 0,40$ m. En laboratorio se los humedeció hasta llevarlos a un estado próximo a la saturación, en la cual los suelos presentan su menor resistencia, el que coincide, aproximadamente, con el límite superior del Estado Plástico (Lambe, 1979).

Las pruebas de resistencia a la presión no confinada se efectuaron con un penetrómetro estático Soiltest CL-400, con sonda cilíndrica de 1 cm^2 de sección, graduado en kg.cm^{-2} (0,00-4,50), según la técnica propuesta en Black (1979).

La humedad se cuantificó por gravimetría a peso constante, con secado en estufa a 105°C y la textura por tamizado y pipeteo, previa dispersión de la muestra con hexametáfosfato de sodio (Richards, 1962).

Registrados sus valores iniciales de humedad y penetración, se dejó secar naturalmente el suelo, realizándose pruebas secuenciales de penetración a medida que las pérdidas por evaporación lo endurecían progresivamente; en cada caso se midió la humedad de los monolitos.

Este procedimiento continuó hasta que los valores de R superaron la capacidad del penetrómetro ($4,50 \text{ kg.cm}^{-2}$).

En los ensayos de campo se evaluó R en todo el perfil y al estado de humedad del suelo en ese momento, empleándose el mismo penetrómetro.

RESULTADOS

En la figura 1 se representan las fluctuaciones en los valores de R en función del decrecimiento en el contenido de agua intersticial.

El primer grupo de ensayo, muestras denominadas 1a, 1b y 1c, pertenece a suelos con texturas moderadamente gruesas (tabla 2); el segundo, 2a, 2b y 2c, se integra con las muestras de texturas medianamente finas y, por último, el tercer grupo es representativo de las texturas arcillosas (3a, 3b y 3c).

Comparando los tres grupos se evidencia el peso de la componente textural sobre la consistencia del suelo. En los grupos 1 y 2 se identifican, por lo menos, dos situaciones bien diferenciadas: la primera de ellas (a) ejemplifica el estado de menor resistencia -el semisólido- en el cual sus condiciones de alta friabilidad no obstaculizan la potencial expansión de las raíces.

En el grupo 1 su límite superior se ubica entre $1,00-1,25 \text{ kg.cm}^{-2}$, que corresponde a un contenido de agua de alrededor del 20%; la pendiente de este tramo varía dentro de valores semejantes: $0,70-0,78-0,75$, respectivamente, lo que indica el funcionamiento análogo de los tres suelos.

Desde el punto de inflexión (20% de agua) (tramo b) el aumento de la pendiente es notorio, ponderándose en 3 a 5 veces más ($4,01-2,47-2,74$). Esto significa que en el entorno situado entre el 20-8% de humedad, la R de estos suelos llega al valor tope de $4,50 \text{ kg.cm}^{-2}$. En este sector se agudizan los efectos restrictivos al trabajo de las raíces por endurecimiento del suelo.

En el grupo 2, la tendencia del comportamiento del suelo es semejante al grupo 1, hecho que se comprueba relacionando los valores de pendiente en a y b, correspondiéndole 0,93-0,70-0,40 y 2,74-2,74-2,47, respectivamente.

El tramo a muestra una discreta heterogeneidad en sus cifras, probablemente como consecuencia del contenido y el tipo de arcilla en cada muestra; si se considera que su participación textural llega a valores situados entre 28-30% (tabla 2) la influencia de la mineralogía del material y, sobre todo, el catión dominante en su Complejo de Intercambio Iónico, deben incidir en la variabilidad de la consistencia.

La pendiente se homogeneiza luego del punto de inflexión (28%) y sus magnitudes se acercan notoriamente a las del grupo 1, lo que establece una afinidad concreta en la respuesta de R en los niveles de agua menores, aún con diferencias significativas en el porcentaje de arcilla.

Los valores límites de la situación de menor dureza (a) varían entre el 28-30% de humedad, con una R de 0,75-1,00 kg.cm⁻². El tramo b llega al máximo mensurado (4,50 kg.cm⁻²) con alrededor del 15% de humedad.

Para comprobar desde otra perspectiva la influencia del material edáfico, se considero el valor de 2,50 kg.cm⁻² como umbral crítico para las raíces, a partir del cual sus probabilidades de extenderse tienden a ser nulas. En el grupo 1 éste corresponde al 13-15% de humedad, mientras que en 2 se localiza entre el 18-25%.

Los suelos del grupo 3, con un contenido de arcilla superior al 50%, cambian su consistencia en una relación mas directa con la pérdida de agua. Lo notable de este grupo es: primero, el elevado contenido de agua necesario para que el suelo sea menos resistente (R de 0,50-1,25 kg.cm⁻²) y, en segundo término, el reducido decrecimiento de humedad con el que llegan al valor comparativo de 2,50 kg.cm⁻².

El límite máximo se obtiene con tenores que igualan o superan el 27% de agua, valor este que proyectado a los suelos de los grupos 1 y 2, produce resistencias de 0,50-0,75 kg.cm⁻² y 0,75-1,50 kg.cm⁻² respectivamente, es decir, sin impedimentos mecánicos.

En la tabla 2, se presenta la respuesta del suelo en los ensayos efectuados *in situ*. La resistencia a la presión no confinada, correlacionada con el contenido puntual de agua y la textura de cada horizonte, es congruente con los valores obtenidos en laboratorio.

DISCUSION

Cuando la resistencia mecánica del suelo supera umbrales críticos, puede incidir desfavorablemente sobre el desarrollo vegetal, ya sea reduciendo o impidiendo la emergencia de las plántulas o, más frecuentemente, restringiendo el crecimiento en profundidad del sistema radicular (Russell, 1977).

En este último caso, el éxito en la evolución de una estructura vegetal dependerán de la duración del período en el cual la fase sólida del suelo actúa con alta impedancia y de la potencia de los horizontes que contienen mas del 35% de arcilla.

Esta situación física variará con el volumen de agua acumulado en el suelo, que a su vez depende de cuatro factores altamente dinámicos: el monto y la distribución de las lluvias; la velocidad del escurrimiento superficial; la tasa de infiltración y la conductividad hidráulica (Bengough, *op.cit.*).

La primera aproximación al problema es conocer la marcha de las aportaciones pluviométricas, acotando la recurrencia y la longitud de las fases húmedas y secas.

En la región del Chaco Oriental, es muy elevada la variabilidad estacional y anual del régimen de lluvias; no obstante, los períodos de déficits hídricos normalmente se producen en invierno e inicio de primavera (Patiño *et al.*, 1986); que se

reiteran, por un lapso más breve, en enero y parte de febrero (Bruniard, 1978).

Por lo tanto, es previsible que durante 4-5 meses las raíces deban afrontar dificultades crecientes para expandirse y tomar la solución del suelo necesaria a sus actividades metabólicas.

La mayor actividad del crecimiento estará circunscripta, frecuentemente, a los meses de febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre, durante los cuales la elevada disponibilidad de agua y nutrientes, más la reducida resistencia del suelo, optimizan la relación trófica suelo/planta.

Con estas condiciones, pueden adicionarse de dos a tres meses, en tanto la distribución de las precipitaciones produzca una ampliación del período húmedo. El caso contrario, también tiene validéz, es decir, una retracción de las aportaciones hídricas en términos de tiempo equivalente, con sus consecuencias restrictivas dentro del suelo.

Si se considera una sinópsis regional en base al desarrollo evolutivo del suelo, en el Chaco Oriental se identifican tres grandes agrupaciones (Patiño *et al.*, 1986; Ledesma, 1974): los de desarrollo incipiente, ubicados normalmente en las acreciones laterales de los cauces fluviales, con texturas predominantemente franco-limosas; los suelos evolucionados de las planicies tabuliformes de los interfluvios, generalmente con texturas franco-arcillo-limosa a arcillo-limosa, soportes de estructuras leñosas integradas por especies tánicas y, finalmente, los perfiles correspondientes a los ambientes anegables o inundables, que abarcan algo más del 50% de la región (Neiff, 1986), fuertemente arcillosos y con matriz herbácea hidrófila.

Precisamente, en este último caso se dan las situaciones de tensión mecánica más extremas, tanto por el contenido de materiales pelíticos, como por el espesor de los horizontes arcillosos (1,50-2,00 m).

El condicionante físico-mecánico y la discontinuidad en el volumen del agua utilizable, separan dos etapas contrastantes en el

trofismo edáfico: la de alta productividad biótica, dependiente del tiempo de permanencia de una lámina de agua cubriendo el suelo, durante el cual la biomasa generada alcanza valores de 15-23 ton.ha⁻¹, que desciende a mínimos de 0,5-2,0 ton.ha⁻¹, por efecto de la evapotranspiración, desecación y endurecimiento del suelo (Neiff, 1980).

En los bosques altos de quebracho colorado (*Schinopsis balansae*) y urunday (*Astronium balansae*) como bioformas prístinas, la tensión mecánica de las raíces es atenuada por tres causas principales: menor cantidad de arcilla (sus valores modales oscilan entre el 35-45%); horizontes B2 que raramente sobrepasan en conjunto 0,80-1,00 m de espesor y la presencia de estructuras arbóreas densas, disetáneas y pluriespecíficas que mejoran el balance del agua en el suelo, lo que permite la persistencia de valores de \bar{R} inferiores a 2,50 kg.cm⁻².

Es común que estos suelos sean usados para agricultura, previa tala rasa del bosque, lo que conlleva a una degradación progresiva de sus aptitudes físicas, resultando en menores posibilidades de almacenar agua al disminuir la tasa de infiltración por el deterioro de la estructura del horizonte superficial.

Esto implica la formación de costras superficiales y/o panes inducidos (pisos de arado) de muy lenta permeabilidad. Según Kirby (1984), en estas costras o panes la transmisión del agua puede ser hasta 200 veces menor que en los horizontes no perturbados. Consecuentemente, al disminuir la disponibilidad de agua, se acorta el tiempo durante el cual los horizontes B2 son menos cohesivos.

Las acreciones laterales (albardones) de una parte de la red potámica chaqueña, están construídas con sedimentos limo-arenosos, que originan suelos poco desarrollados (perfiles A-C), profundos (mas de 2 m), con buena conductividad hidráulica, que unida a su textura franco-limosa, producen una fase sólida de baja impedancia; atributos que, adicionados a otras condiciones físicas y bioquímicas apropiadas, originan condiciones de eutrofia edáfica,

que se manifiesta exteriormente en el bosque pluriestratificado y de alta densidad que se distribuye en las márgenes de los cauces situados al norte del río Negro (Patiño, *op.cit.*).

Respecto a la capacidad de los órganos de crecimiento para vencer la resistencia mecánica del suelo, en la literatura se encuentran valores obtenidos de ensayos con especies cultivadas; por ejemplo: en el maíz, se midieron valores de $1,04 \text{ kg.cm}^{-2}$ como presión axial ejercida y de $0,67 \text{ kg.cm}^{-2}$ como presión radial; el algodón, por su parte, puede desarrollar presiones axiales del orden de $1,12-1,22 \text{ kg.cm}^{-2}$ (Eavis, 1969; Gill y Bolt, 1955).

Para las especies arbóreas nativas del Chaco Oriental se carece de información, aunque es razonable asumir que deben superar ampliamente dichas cifras. Por esta razón, se estima provisoriamente aceptable el valor de $2,50 \text{ kg.cm}^{-2}$ como límite superior del estado menos cohesivo.

La capacidad para distribuir sus raíces en un ambiente edáfico temporalmente inadecuado por su dureza, probablemente varíe mucho entre las especies arbóreas, con más razón si se tiene en cuenta que la impedancia del suelo como limitante, con frecuencia está asociada a otros factores negativos; v.gr.: concentraciones nocivas de sales solubles; de tal forma que aunados estos efectos, se amplifican las constricciones del suelo y sólo pueden establecerse aquellas tolerantes que poseen mecanismo de adaptación eficientes; caso del quebracho colorado, de los algarrobos (*Prosopis alba* y *nigra*) y el vinal (*Prosopis ruscifolia*).

COMENTARIOS FINALES

Los cambios en la humedad y en la textura son los principales responsables de las posibilidades del desarrollo radicular, en tanto que la dureza del suelo sea inferior, o no, a la fuerza de penetración que los órganos radiculares puedan ejercer, y considerando que aquélla es inversamente proporcional a la magnitud de su fase líquida.

Las lluvias se concentran en lapsos estadísticamente definidos, aunque sus límites pueden variar y constituye la variable independiente del sistema por no ser regulable. Por lo tanto, la eficacia de la transferencia del agua aportada al suelo y su circulación interna, es la variable factible de ser manejada para acortar la duración del lapso durante el cual el suelo presenta altos valores de resistencia.

Otras variables, como el contenido en materia orgánica, pueden incidir en la cohesividad del suelo, principalmente en los horizontes superficiales, aumentando su friabilidad y captando mayor cantidad de agua, la que luego puede difundirse a los horizontes subyacentes, mejorando sus condiciones físicas.

BIBLIOGRAFIA

- Baver, L.D., 1973. Física de Suelos. Unión Tipográfica Hispano Americana, 519 p.
- Bengough, A.G. y C.E. Mulling, 1990. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *Journal of Soil Science*, 41(3): 341-358.
- Black, C.A.(E.), 1979. Methods of Soil Analysis, Chap. 37: Penetrometer measurements. American Society of Agronomy. Agronomy Series N°9: 472-484.
- Bruniard, D., 1979. El Gran Chaco Argentino (4). Instituto de Geografía, Facultad de Humanidades, UNNE.
- Cerana, L., 1978. La resistencia mecánica del suelo y el crecimiento de los tallos subterráneos y raíces. Curso para graduados, Facultad de Edafología, Universidad Católica de Santa Fe.
- Eavis, B.W. *et al.*, 1969. Use of dead load technique to determine axial root growth. *Agron. Journal*, 61: 640-643.
- Kirby, M.J. *et al.*, 1984. Erosión de Suelos. Ed. Limusa, 375 p.
- Lambe, T.W., 1979. Soil Mechanics, S.I. Version. John Wiley & Sons, 553 p.
- Ledesma, L.L. *et al.*, 1974. Introducción al conocimiento de los suelos del Chaco. Convenio INTA-Gobierno de la Provincia del Chaco. EERA Saenz Peña, Chaco.

- Neiff, J.J., 1980. Caracterización de la vegetación en áreas anegables del SE del Chaco. En: Investigaciones relativas a la producción y ecología de plantas acuáticas de valor forrajero y calidad de aguas en los Bajos Submeridionales. Informe Final. Convenio CFI-CECOAL: 32-55.
- Neiff, J.J., 1986. Sinopsis ecológica y estado actual del Chaco Oriental. Ambiente Subtropical, 1: 5-35.
- Patíño, C.A. *et al.*, 1986. Aproximación al conocimiento del proceso de erosión del suelo en el Chaco Oriental. Ambiente Subtropical, 1: 47-59.
- Russell, R.S., 1977. Plant Root Systems: their function and interaction with the soil. McGraw-Hill, London.

Figura 1

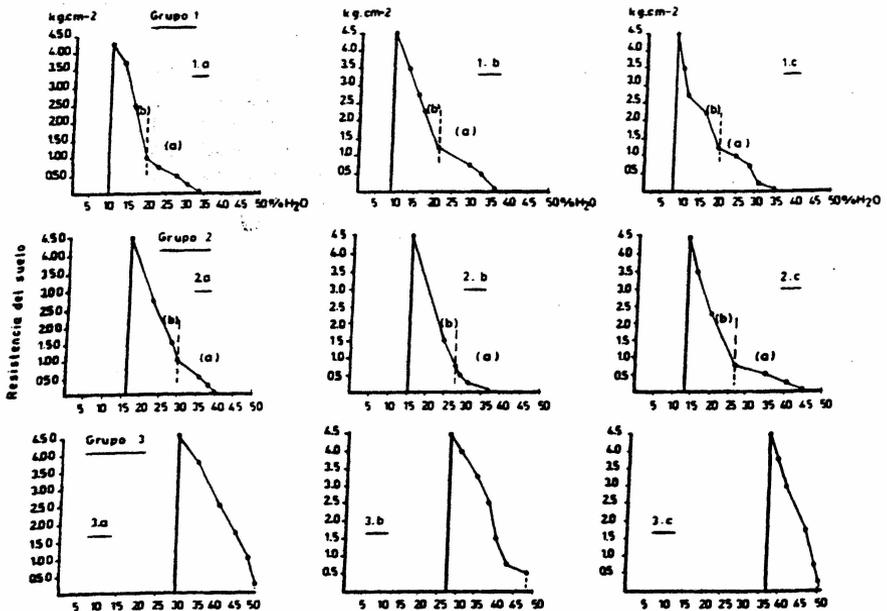


Tabla Nº1

RESISTENCIA MECANICA, CONTENIDO DE AGUA Y TEXTURA DE LOS PERFILES ESTUDIADOS EN CAMPO

Perfil Nº1: Ubicación: Bosque de Grevilea robusta. Estación Forestal General Obligado, IFONA, Chaco.

Horiz.	Prof. (cm)	R(kg.cm ⁻²)	H ₂ O(%)	Textura (%) Arena-Limo-Arcilla
A1	0 - 10	1,25	21	30-60-10 (1)
B21	- 45	4,50	14	10-48-41 (2)
B22	- 92	4,50	16	14-52-33 (3)
B3	-131	4,50	14	15-58-28 (3)

Perfil Nº2: Ubicación: Bosque alto abierto. Estación Forestal General Obligado. IFONA, Chaco.

A1	0 - 27	0,25	31	30-55-14 (1)
B21	- 56	4,50	17	15-43-40 (2)
B22	- 89	4,50	15	16-50-32 (3)
B23	-116	4,00	19	19-51-30 (3)
B3	-140	3,25	22	20-53-27 (3)
C	-150(+)	3,25	20	27-60-13 (1)

- (1) franco-limosa
 (2) arcillo-limosa
 (3) franco-arcillo-limosa

Tabla N°2

Perfil N°3: Ubicación: Bosque de paraíso gigante (*Melia azederach* var. *giganteus*). Instituto de Silvicultura, UNNE, Villa 213, Formosa.

Horiz.	Prof. (cm)	R(kg.cm ⁻²)	H ₂ O(%)	Textura (%) Arena-Limo-Arcilla
A1	0 - 21	0,75	19	37-52-11 (1)
B21	- 52	4,50	12	9-51-40 (2)
B22	- 79	4,50	11	13-48-38 (3)
C	-110(+)	3,50	13	30-60-11 (1)

- (1) franco-limosa
- (2) arcillo-limosa
- (3) franco-arcillo-limosa

TEXTURA DE LOS SUELOS ENSAYADOS EN LABORATORIO

Muestra	Textura (%) Arena-Limo-Arcilla	Muestra	Textura (%) Arena-Limo-Arcilla
Grupo 1		Grupo 2	
1a	25-70-5	2a	2-70-28
1b	30-67-3	2b	5-65-30
1c	20-75-4	2c	15-55-30
Grupo 3			
3a	6-40-53		
3b	6-40-55		
3c	4-41-55		