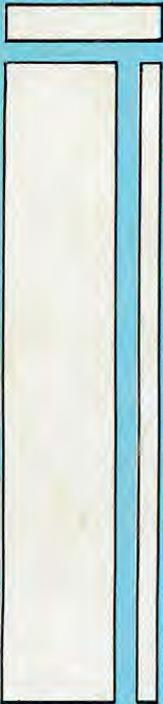




26 ABR. 1989

Universidad de la República
FACULTAD DE AGRONOMIA



**ASPECTOS METODOLOGICOS
EN LA DETERMINACION DE LA
CAPACIDAD
DE RETENER AGUA DE LOS
SUELOS DEL URUGUAY**

ALFREDO SILVA - JULIO PONCE DE LEON

FERNANDO GARCIA - ARTIGAS DURAN

FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE DOCUMENTACION Y BIBLIOTECA

BOLETIN DE INVESTIGACION N° 10

MONTEVIDEO

1988

URUGUAY

ASPECTOS METODOLOGICOS EN LA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE RETENER AGUA DE LOS SUELOS DEL URUGUAY

Alfredo Silva¹; Julio Ponce de León¹;
Fernando García²; Artigas Durán³

RESUMEN

El conocimiento de la capacidad de almacenar agua del suelo, es básico para determinar su disponibilidad para las plantas y estudiar el balance hídrico, el movimiento de agua y solutos, así como caracterizar el espacio poroso del suelo. En este trabajo se evaluó la metodología corrientemente utilizada. Se consideró el uso de muestras de suelo perturbadas e imperturbadas. La retención de agua se estudió a diferentes potenciales de matriz (-10, -33,3 -100 y -1500 KPa) relacionándola a su vez con la textura y contenido de materia orgánica. Las determinaciones se realizaron en 240 muestras de horizontes pertenecientes a 48 suelos del país. Se estimó capacidad de campo (CC) como el contenido de agua retenido a -10 KPa en muestras imperturbadas o a -33,3 KPa en muestras perturbadas. Se estimó coeficiente de marchitez permanente (CMP) como el contenido de agua retenido a -1500 KPa en muestras perturbadas. Los valores hallados se relacionaron mediante regresiones simples y múltiples. De los resultados obtenidos se concluye que la retención de agua varía según el tipo de muestra utilizada. Se encontró una sobreestimación en la retención de agua a altos potenciales de matriz con muestras perturbadas, incrementándose en los suelos arcillosos. Esta tendencia se invierte en suelos de baja retención (arenosos). Se hallaron valores de capacidad de campo que superan la porosidad total al utilizar muestras perturbadas, especialmente en los horizontes B. Se concluyó que la capacidad de campo puede estimarse por determinación directa en muestras imperturbadas, mientras que el coeficiente de marchitez permanente puede ser determinado por el uso de muestras perturbadas, así como también puede estimarse razonablemente por regresiones que consideran la textura y la materia orgánica; también puede hacerse a partir del valor del dato de retención a -10 KPa de potencial de matriz en muestras imperturbadas (CC).

Recibido el 17 de diciembre, 1987.

Aceptado el 7 de abril, 1988.

1 Ing. Agr. Profesor Asistente de Edafología

2 Ing. Agr. MSc. Profesor Adjunto de Edafología. Jefe Departamento de Investigación DUMA/MGAP.

3 Ing. Agr. MSc. Profesor de Edafología

SUMMARY

Soil water holding capacity is a basic tool in determining water availability for plant growth, and for studying soil hydrological behavior and the movement of water and solutes. The present paper reports an evaluation of methodology currently used, especially the use of disturbed vs. undisturbed samples. Soil water content was determined at different values of soil water matric potential (-10, -33,3, -100 and -1500 KPa).

These values were related with soil granulometry and organic matter content. Determinations were made in 240 horizons pertaining to 48 Uruguayan soils. Soil field capacity was estimated both by the soil water content at $\Psi_m = -10$ KPa in undisturbed samples and at $\Psi_m = -33,3$ KPa in disturbed samples. Soil permanent wilting point was estimated by the soil water content at $\Psi_m = -1500$ KPa in disturbed samples. Results show that water content at high Ψ_m values depends on the preservation or not of soil structure. The determination in disturbed samples produces higher water contents at equilibrium with high Ψ_m values than the determination in undisturbed ones, in soils of medium to finer texture. This trend is exacerbated by the increase in water retention capacity (higher clay content)). In the extreme of low water holding capacity (sandy soils), the trend is inverted, retaining more water the samples with natural structure.

The indicated trend in medium to fine textured soils makes appear values of field capacity greater than total soil porosity with higher frequency the finer the texture (B horizons).

According with field information, field capacity is reasonably well estimated by the soil water content at $\Psi_m = -10$ KPa in undisturbed soil samples. But the permanent wilting point can be estimated using disturbed samples. Regressions are presented both, to estimate field capacity using granulometry and organic matter data and to estimate the permanent wilting point using the same information or the soil water content at $\Psi_m = -10$ KPa in undisturbed samples.

INTRODUCCION

La capacidad de almacenar agua de los suelos es determinante de la forma en que la precipitación y el agua de riego se hacen disponibles para las plantas. En los cultivos totalmente dependientes de la precipitación, la capacidad de retener agua del suelo adquiere mayor importancia dado que debe ser lo suficientemente grande como para hacer frente a las demandas (Unger, 1975).

Conocer el almacenamiento de agua en la zona de mayor exploración radicular, constituye un elemento fundamental del balance hídrico (Burgos y Corsi, 1967).

Las curvas de retención de agua del suelo son necesarias para muchos investigadores, a fin de describir la disponibilidad del agua del suelo para las plantas y el movimiento de agua y solutos en suelos no saturados (De Jong, Campbell y Nicholaichuk, 1983). También son usadas para caracterizar la distribución por tamaño del espacio poroso (Hillel, 1982).

Dicha propiedad edáfica se estima en el laboratorio utilizando platos porosos o equipos de membranas. En estas técnicas generalmente, se usa suelo molido y

tamizado (muestras perturbadas), ya que las muestras son mucho más fáciles de obtener y manipular que cuando se quiere mantener la estructura del suelo (muestras imperturbadas).

Sin embargo, la cantidad de agua retenida por suelos perturbados puede diferir de la retenida cuando se mantiene la estructura de las muestras (Elrick y Tanner, 1955; Jamison y Kroth, 1958; Young y Dixon, 1966; Burgos y Corsi, 1967; Silva y García, 1985).

De acuerdo con Marshall y Holmes (1979) y Hillel (1982), y en función de los resultados presentados por Unger (1975), el uso de muestras molidas y tamizadas produce resultados diferentes de los obtenidos cuando se respeta la estructura del suelo, en la región de altos contenidos de agua de la curva de retención.

Sin embargo, no existen diferencias en la región de bajos contenidos de agua de la curva.

Se han ajustado diferentes regresiones para estimar la capacidad de retener agua de los suelos a partir de la composición mecánica, el contenido de materia orgánica y la densidad aparente, así como estudiar la influencia de dichos elementos en la forma de la curva de retención (Labella y Alvarez, 1969; Hosftadter, 1973; Ruz, García-Huidobro y Acayaga, 1977; Fernández, 1979; Ghosh, 1980; Young, 1982; Silva y García, 1985).

Sin embargo, las estimaciones obtenidas a partir de esas regresiones no son consistentes. Entre los factores que determinan lo anterior pueden mencionarse los diferentes tipos de muestras utilizadas (perturbadas o imperturbadas), la no consideración de separar los diferentes horizontes (A y B) para establecer las relaciones funcionales y la expresión en base volumétrica, obtenida por la multiplicación de contenidos gravimétricos de agua de muestras perturbadas por densidades aparentes de muestras imperturbadas.

La retención de agua en muestras molidas y tamizadas, produce una sobrestimación de alrededor de 30% a potenciales de matriz mayores a -40 KPa y de alrededor de 10% a potenciales de matriz menores a -100 KPa (Elrick y Tanner, 1955, cit. por Kramer, 1983). Sin embargo los datos de Unger (1975), indican que en suelos que retienen poca agua (arenosos), el moler el suelo puede significar una reducción de la retención de agua.

De todas formas, en horizontes argilúvicos de suelos del Uruguay es fácil comprobar que la capacidad de campo en base volumétrica, estimada multiplicando la retención gravimétrica a -33,3 KPa de potencial de matriz de muestras perturbadas por la densidad aparente de muestras imperturbadas, suele superar la porosidad total calculada en base a la misma densidad aparente y a la densidad real del horizonte. Esto también fue observado por Young y Dixon (1966), con mayor frecuencia en suelos con

más de 35% de arcilla. Este hecho es una clara indicación de que esta forma de estimar capacidad de campo (sin entrar a discutir la validez teórica del concepto ni su utilidad práctica) no es correcta.

En nuestro país, investigaciones llevadas a cabo por Burgos y Corsi (1967), en 2 suelos del Uruguay (Brunosol Eutrico y Subéutrico Típicos) sobre constantes hidrológicas, permitieron observar que las determinaciones de capacidad de campo, empleando muestras de suelo cuya estructura natural se alteraba por las técnicas de laboratorio, no dieron resultados satisfactorios. Los valores obtenidos con muestras perturbadas fueron excesivamente altos comparados con los obtenidos a campo, y representaron entre 30 y 38% más contenido de agua. Estos autores adjudicaron el hecho a que al triturar las muestras de suelo se rompen los agregados naturales y así se crea una porosidad y se ofrece una superficie de contacto con el agua mucho mayor. En esas condiciones se retiene no solo el agua capilar, sino también la de absorción y expansión de los coloides abundantes en esos tipos de suelos.

Posteriormente trabajos preliminares de Silva y García (1985), comparando muestras de suelos perturbadas e imperturbadas en relación a su capacidad de retener agua a altos potenciales de matriz, encontraron diferencias que asociaron a los distintos contenidos de arcilla, siendo mayores las discrepancias cuanto mayor era el contenido de esa fracción. También pueden mencionarse otros trabajos de investigación en los que al estudiar estos 2 tipos de muestras, se verificó una sobreestimación de la retención de agua al moler la muestra de suelo antes de la determinación (Arias y Millar, 1973; Bartelli y Peters, 1959; Elrick y Tanner, 1955).

Por último se debe considerar como excepción, la información obtenida por Ruz, García-Huidobro y Acayaga (1977), quienes realizaron un estudio de correlaciones entre métodos para determinar constantes hídricas. Dichos autores encontraron que una presión de -33,3 KPa en muestras molidas, estima bien el contenido de agua a capacidad campo (medida a campo), utilizando suelos de texturas moderadamente finas y finas, y citan a Pidgeon (1972) quien con el mismo procedimiento, obtuvo curvas de regresión entre -33,3 KPa y capacidad de campo con una pendiente igual a 1 y un coeficiente de correlación de 0,96.

Sin embargo estos autores no compararon la determinación a -33,3 KPa con -10 KPa en el laboratorio y éste con el valor de campo

García y Cardellino (1983), en un Brunosol Eutrico Típico encontraron que la estimación de capacidad de campo hasta 115 cm de profundidad (horizontes A, B2t, B3 y C) en base a la retención volumétrica de muestras imperturbadas y equilibradas a -10 KPa de potencial de matriz, concordó muy bien con la capacidad de campo en el terreno, revelada por la medición semanal del agua del suelo bajo distintos manejos durante varios años.

Entre los muchos intentos de poder obtener expresiones numéricas que relacionaran la textura, materia orgánica (cantidad y tipo) y densidad aparente con algunos parámetros hídricos se encuentran los de: Labella y Alvarez, (1969), Hosftadter, (1973), Ruz, García Huidobro y Alcayaga (1977), Fernández, (1979), Ghosh (1980), De Jong, Campbell y Nicholaichuk (1983) y Silva y García (1985).

En todos estos trabajos se estudió el efecto de fracciones granulométricas sobre la capacidad de los suelos para retener agua, encontrándose valores significativos. El contenido de arcilla y el de arena, con una tendencia opuesta, son las que explican en buena medida la cantidad de agua que es capaz de retener el suelo. El contenido de materia orgánica parece ser importante sólo en aquellos suelos de texturas livianas. La magnitud del efecto de estos elementos en la retención de agua por parte del suelo, varía según el tipo de suelo estudiado.

El presente trabajo tuvo como objetivos:

1. Comparar las cifras de retención de agua a altos valores de potencial de matriz obtenidas en muestras imperturbadas y perturbadas (molidas y tamizadas) de suelos del Uruguay.
2. Estudiar relaciones funcionales entre la retención de agua a diferentes potenciales de matriz.
3. Estudiar relaciones funcionales entre algunos valores de retención de agua, la textura y el contenido de materia orgánica, con el objetivo de estimar aquellos a partir de los últimos.

MATERIALES Y METODOS

Para este estudio se utilizaron muestras de alrededor de 240 horizontes de 48 suelos de diferentes localidades del país. Los datos de 25 horizontes provienen de trabajos de Sganga y Terzaghi (1982) y Cayota, Freiria y Petraglia (1981). De los restantes se tomaron muestras imperturbadas (I), que luego de las determinaciones fueron molidas y pasadas por tamiz de 2 mm (P).

Se determinó la cantidad de agua retenida a los siguientes potenciales de matriz: -10; -33,3; -100 y -1500 KPa en ambos tipos de muestras. Las medidas fueron hechas por el método del plato de presión (Richards, 1965).

Se consideró como capacidad de campo (CC) al contenido de agua retenida a un potencial de -10 KPa (I) y como coeficiente de marchitez permanente al agua retenida a -1500 KPa (P).

El análisis mecánico fue realizado por el método internacional de la pipeta (Day, 1965) en el laboratorio de la Dirección de Suelos/MGAP. El contenido de materia orgánica (MO) se determinó por el método de Walkley y Black (Allison, 1965).

Las distintas muestras estudiadas fueron agrupadas según su textura, utilizando el triángulo textural del Departamento de Agricultura de E.U.A. y según se tratara de horizontes A o B.

Por último, utilizando técnicas de regresión múltiple, se relacionó el contenido de arcilla, limo y arena y el de MO con el contenido de agua a -10 KPa (muestras I) por un lado y con el agua retenida a -1500 KPa (muestras P) por otro.

Se establecieron relaciones entre diversas variables por las técnicas de regresión simple.

RESULTADOS Y DISCUSION

El contenido de arena de las muestras de suelos analizados varió entre 6.7 y 82.6%, el limo lo hizo entre 3.6 y 68.8% y el de arcilla entre 9.1 y 53.2%. El contenido de MO varió entre 0.45 y 10.1%.

1. Relaciones entre contenido de agua retenido en muestras imperturbadas (I) y perturbadas (P), a diferentes potenciales de matriz.

Se establecieron relaciones numéricas entre el contenido de agua gravimétrico retenido a los diferentes potenciales de matriz estudiados (Cuadro 1). Dichas relaciones fueron todas significativas al 0.1%.

La ecuación 1, muestra que el intercepto difiere de cero y la pendiente de 1.0; es decir, la retención de agua a igual potencial de matriz, no es la misma según se trate de muestras perturbadas o imperturbadas.

Las figuras 1a y 1b corresponden a las ecuaciones 2 y 3, horizontes A y B, respectivamente. Se observa, en los horizontes A, que la determinación en muestras perturbadas sobreestima la retención en muestras con la estructura intacta, en forma creciente a partir de valores de retención de 14% en base gravimétrica. Debajo de ese valor (suelos más arenosos), el uso de muestras perturbadas subestima la retención frente al uso de suelo imperturbado aunque en menor proporción. Esto concuerda con lo hallado por Unger (1975). El mantenimiento de la estructura, aunque ligera en los suelos arenosos, permite que en las muestras imperturbadas la porosidad que retiene agua sea mayor que cuando las muestras se encuentran molidas y tamizadas. Esto último resulta en un mayor contenido de agua a altos potenciales de matriz, al compararlo con el mismo suelo perturbado. En los suelos arenosos, esta última condición lleva a la estructura de grano simple, lo cual resulta en una más completa remoción del agua a baja succión. La figura 1b muestra la misma tendencia pero más acentuada. La sobreestimación a altas retenciones (mayor contenido de arcilla) es más

CUADRO No. 1

Ecuaciones de regresión simple, coeficientes de correlación y errores estandar de los estimadores asociados a las regresiones obtenidas.

Observ.	Ec. No.	Variables* y x		(n)	Regresión	Coef Corr.	P<	Error est.
Todos los horizontes	1	-10	-10	203	$y = 4.519 + 0.718x$	0.869	.001	4.416
Horizontes A	2	-10	-10	109	$y = 3.668 + 0.735x$	0.875	.001	4.590
Horizontes B	3	-10	-10	94	$y = 6.154 + 0.682x$	0.853	.001	4.210
Horizontes arenosos	4	-10	-10	28	$y = 3.100 + 0.882$	0.916	.001	2.890
Todos los horizontes	5	-10	-33.3	197	$y = 7.681 + 0.816x$	0.901	.001	4.020
Horizontes A	6	-10	-33.3	100	$y = 7.423 + 0.813x$	0.899	.001	3.781
Horizontes B	7	-10	-33.3	83	$y = 6.797 + 0.848x$	0.838	.001	4.403
Horizontes arenosos	8	-10	-33.3	30	$y = 6.739 + 1.029x$	0.885	.001	2.762
Todos los horizontes	9	-100	-100	203	$y = 4.765 + 0.971x$	0.900	.001	4.311

* Contenido de agua gravimétrico de muestras imperturbadas (y) y perturbadas (x), a los potenciales de matriz en KPa, indicados en las columnas.

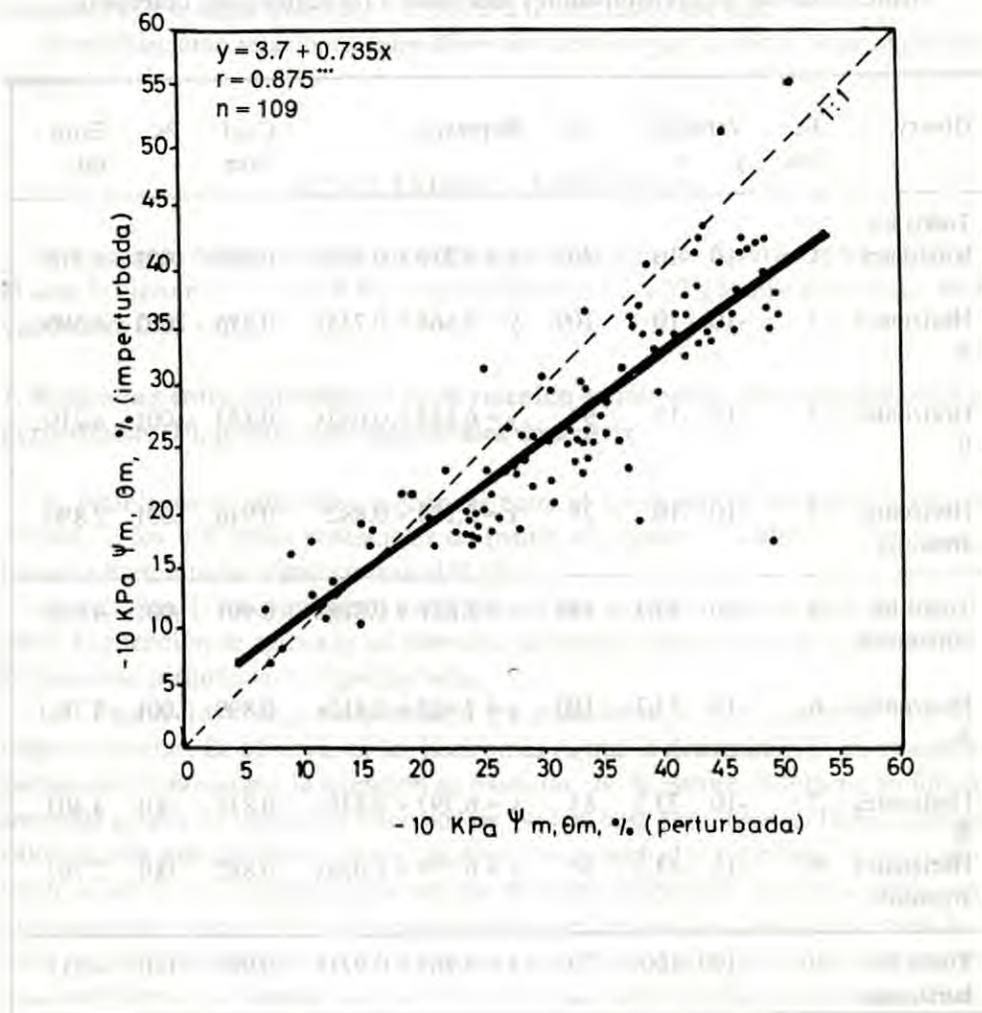


FIGURA No. 1a Contenido de agua en muestras impertubadas estimado a partir del contenido de agua de muestra molidas, a -10 KPa de Ψ_m . Horizonte A.

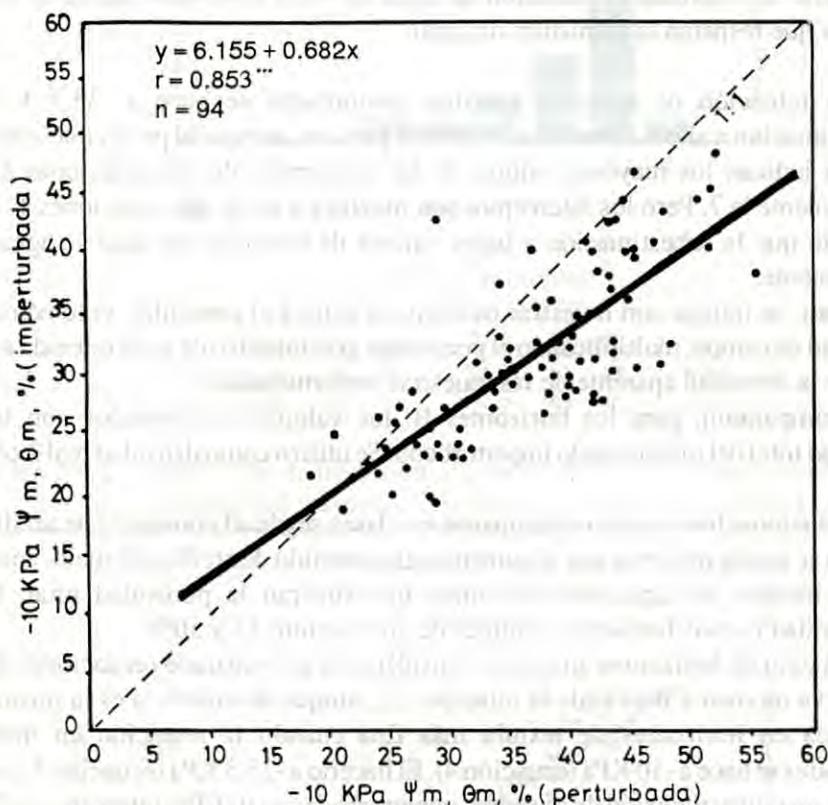


FIGURA No. 1b Contenido de agua en muestras imperturbadas estimado a partir del contenido de agua de muestra molida, a -10 KPa de Ψ_m . Horizonte B.

importante que en los horizontes A, como lo indica la menor pendiente de la regresión. Prácticamente no se observan puntos a retenciones inferiores a 20% en base gravimétrica. Por debajo de ese valor, aproximadamente, el uso de muestras perturbadas subestimaría la retención frente al uso de muestras imperturbadas. En otras palabras, aún con horizontes B de bajo contenido de arcilla, el uso de muestras perturbadas sobreestima la retención de agua de estos horizontes frente al uso de muestras que respetan la estructura original.

Si la retención de agua en muestras perturbadas se hace a -33.3 KPa, la sobreestimación a altos contenidos de arcilla persiste, aunque el problema se atenúa, como lo indican los mayores valores de las pendientes de las ecuaciones 5, 6 y especialmente la 7. Pero los interceptos son mayores a los de las ecuaciones 1, 2 y 3, indicando que la subestimación a bajos valores de retención de agua se agravaría, relativamente.

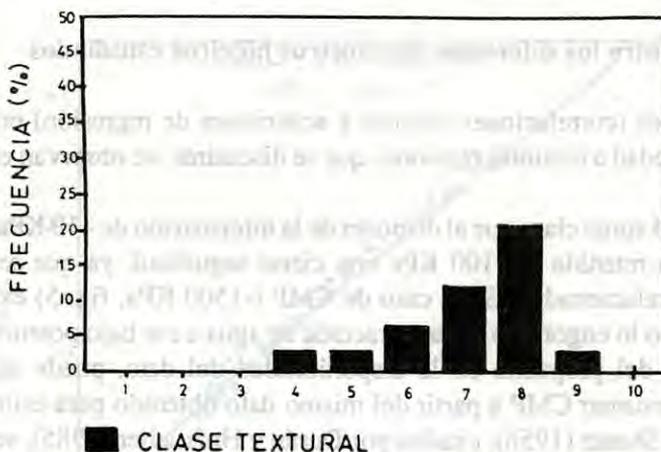
Cuando se trabaja con muestras molidas, se estima el contenido volumétrico de capacidad de campo, multiplicando el porcentaje gravimétrico de agua retenida a -33,3 KPa por la densidad aparente de las muestras imperturbadas.

Se compararon, para los horizontes B, los valores así obtenidos con los de porosidad total del mismo suelo imperturbado. Se utilizó como densidad real 2.65 (fig. 2).

Los distintos horizontes se agruparon en clases según el contenido de arcilla. En la figura se puede observar que al aumentar el contenido de arcilla del suelo, aparecen valores irreales de capacidad de campo que superan la porosidad total. Dicha irregularidad es más frecuente a valores de arcilla entre 45 y 50%.

En el caso de horizontes arenosos, considerados por separado (ecuaciones 4 y 8), se observa un menor desvío de la relación 1:1, aunque la tendencia es la misma a la observada en horizontes de textura más fina cuando la retención en muestras perturbadas se hace a -10 KPa (ecuación 4). El hacerlo a -33,3 KPa (ecuación 8), si bien produce una subestimación de muestras imperturbadas a -10 KPa (intercepto: 6,74) no cambia la misma al variar la capacidad de retención del suelo (la pendiente es prácticamente 1).

A potenciales menores, la discrepancia de la estimación hecha en base a muestras perturbadas decrece, ya que el agua se encuentra retenida en poros más pequeños, que dependen menos de la estructura. La ecuación 9 (fig. 3) es la regresión lineal entre la retención a -100 KPa de muestras perturbadas e imperturbadas. La pendiente de dicha regresión no difiere de 1.0, pero el origen difiere de 0, e indica una cierta subestimación cuando se usa suelo perturbado frente a imperturbado. El trabajo de Unger (1975), muestra que no existe prácticamente diferencia entre usar muestras perturbadas e imperturbadas a -1500 KPa de potencial de matriz.



clase textural (% de arcilla)		
1) 0 - 9.9	4) 25 - 29.9	7) 40 - 44.9
2) 10 - 19.9	5) 30 - 34.9	8) 45 - 49.9
3) 20 - 24.9	6) 35 - 39.9	9) 50 - 54.9

FIGURA No. 2 Distribución de frecuencias de contenido de agua a capacidad de campo (volumétrico) mayores que la porosidad, según porcentaje de arcilla.

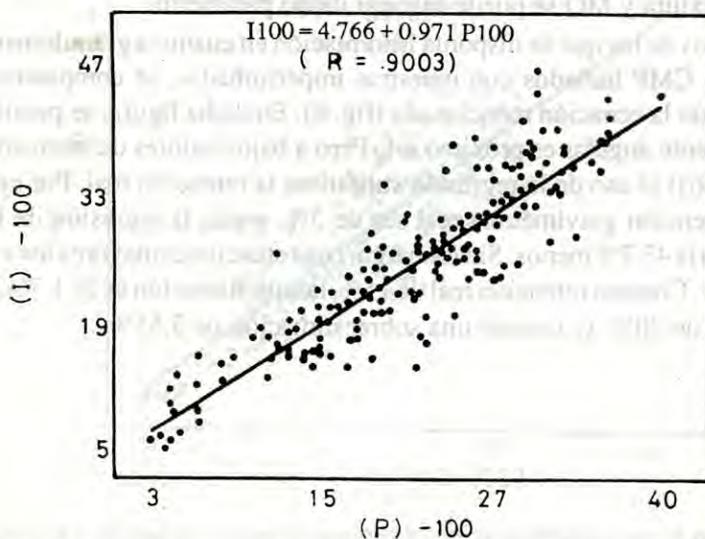


FIGURA No. 3 Relación entre el contenido de agua retenida por muestras de suelo impertubadas y molidas, al mismo potencial (-100 KPa)

2. Relaciones entre los diferentes parámetros hídricos estudiados

Las relaciones (correlaciones simples y ecuaciones de regresión) entre los contenidos de humedad a distintas tensiones que se discutirán, se observan en las figuras 4 y 5.

De la figura 4 surge claro que al disponer de la información de - 10 KPa (I) se puede estimar el agua retenida a - 100 KPa con cierta seguridad, ya que se encuentran estrechamente relacionadas. En el caso de CMP (-1500 KPa, fig. 5) existe un peor ajuste, pero dado lo engorroso de la extracción de agua a ese bajo potencial de matriz y dependiendo del propósito de la disponibilidad del dato, puede utilizarse esta regresión para estimar CMP a partir del mismo dato obtenido para estimar CC (-10 KPa). Briggs y Shantz (1956), citados por Durán y Hofstadter (1985), señalaron que el coeficiente de marchitez permanente puede obtenerse dividiendo el equivalente de humedad (estimación de CC) por 1,84. Estos últimos autores trabajaron con suelos del Uruguay y hallaron un valor de 1,8 como cociente entre CC y CMP.

Esta metodología no sería apropiada para suelos arenosos, según lo destacan los anteriores autores. En el presente trabajo se halló un valor de 1,77, lo que confirma la validez de lo anterior ya que se incluyó un número mayor de muestras y un rango más amplio de texturas.

Por último, teniendo en cuenta el trabajo de Fernández (1979), se dispone de otra forma de estimar CMP, a través de una ecuación de regresión. Con ésta, conociendo los datos de textura y MO se puede calcular dicho parámetro.

De los suelos de los que se disponía información en cuanto a granulometría, y MO los valores de CMP hallados con muestras imperturbadas, se compararon con los estimados según la ecuación mencionada (fig. 6). En dicha figura, se puede observar que el coeficiente angular es próximo a 1. Pero a bajos valores de retención de agua (suelos arenosos) el uso de la regresión subestima la retención real. Por ejemplo, un suelo cuya retención gravimétrica real sea de 5%, según la regresión de Fernández (1979), retendría 43,7% menos. Sin embargo, con retenciones mayores los valores son muy parecidos. Con una retención real de 15%, la subestimación es de 1,7%, y con una retención real de 20%, se comete una sobreestimación de 3,55%.

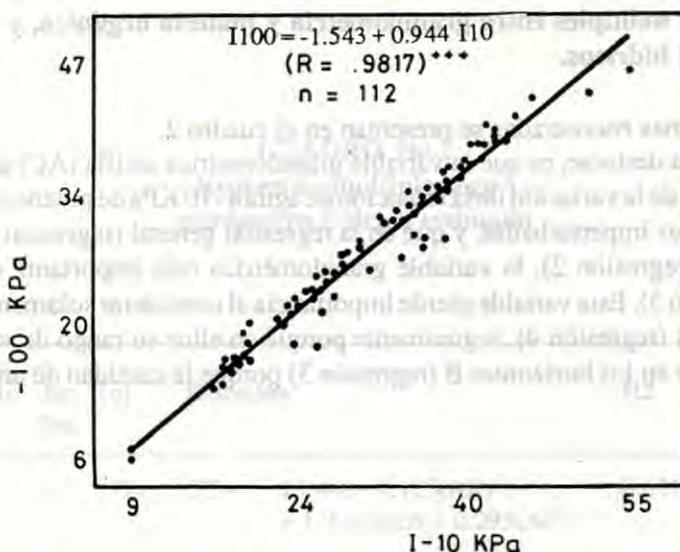


FIGURA No. 4 Relación entre el contenido de agua gravimétrico retenido a -10 KPa (CC) y -100 KPa en muestras imperturbadas.

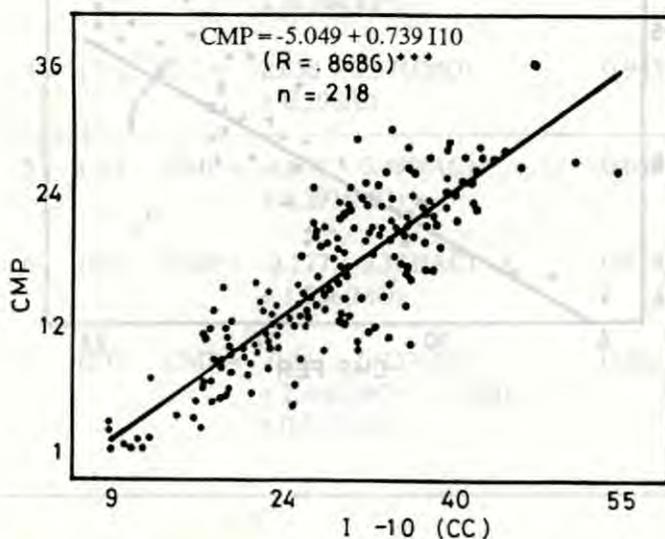


FIGURA No. 5 Relación entre el contenido de agua gravimétrico retenido a -10 KP en muestras imperturbadas (CC) y en muestras perturbadas a -1500 KPa (CMP).

3. Regresiones múltiples entre granulometría y materia orgánica, y diferentes parámetros hídricos.

Las regresiones encontradas se presentan en el cuadro 2.

Lo primero a destacar, es que la variable granulométrica arcilla (AC) aporta poco a la explicación de la variación de la retención de agua a -10 KPa de potencial de matriz (CC) de muestras imperturbadas, y que en la regresión general (regresión 1) y en los horizontes A (regresión 2), la variable granulométrica más importante es la arena (AR)(ver cuadro 3). Esta variable pierde importancia al considerar solamente los horizontes arenosos (regresión 4), seguramente porque en ellos su rango de variación es muy estrecho; y en los horizontes B (regresión 3) porque la cantidad de arena es muy baja.

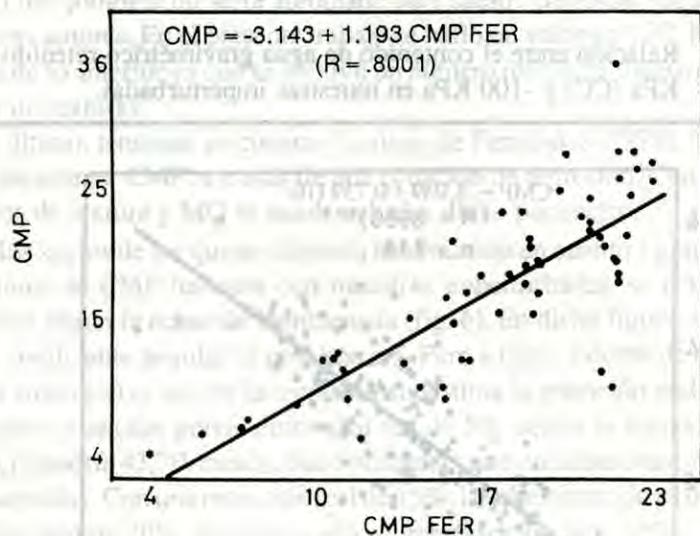


FIGURA No. 6 Relación entre los valores de coeficiente de marchitez permanente determinados en el trabajo y los calculados según ecuación de Fernandez (1979).

CUADRO No.2
Regresión múltiple según
parámetro hídrico estimado

Horizonte	Ec. (n) No.	Ecuación	R2	Error est.
A + B	1 (72)	CC = 18.448 - 0.125(AR) + 1.932(MO) + 0.295(AC)	0.621	5.058
A	2 (39)	CC = 21.977 - 0.681(AR) + 2.601(MO) + 0.127(AC)	0.815	3.905
B	3 (33)	CC = 9.879 + 3.558(MO) + 0.336(AC)	0.318	5.128
Arenosos (A)	4 (7)	CC = 8.658 + 2.571(MO) + 0.296(L)	0.943	1.337
A + B	5 (51)	CMP = -4.671 + 0.498(AC) + 1.291(MO)	0.666	4.417
A	6 (32)	CMP = -2.177 + 0.393(AC) + 1.206(MO)	0.614	4.429
B	7 (27)	CMP = -0.861 + 0.257(AC) + 2.440(MO) + 0.156(L) + 0.047(AR)	0.362	4.711

CUADRO No. 3.
Aporte de cada variable seleccionada
por el programa de Step Wise al R2

Regresión No.	Paso No.	Variable agregada	Prob. de mayor F	R2	Incremento del R2
1	1	AR	0.001	0.421	
	2	MO	0.001	0.506	0.085
	3	AC	0.001	0.621	0.115
2	1	AR	0.001	0.531	
	2	MO	0.001	0.801	0.27
	3	AC	0.131	0.815	0.014
3	1	MO	0.013	0.210	
	2	AC	0.068	0.309	0.099
4	1	MO	0.020	0.693	
	2	L	0.096	0.859	0.165
5	1	AC	0.001	0.588	
	2	MO	0.001	0.665	0.0776
6	1	AC	0.001	0.532	
	2	MO	0.010	0.614	0.0817
7	1	AC	0.008	0.240	
	2	MO	0.193	0.290	0.0504
	3	L	0.225	0.332	0.0424
	4	AR	0.312	0.362	0.0295

En segundo lugar, en todas las regresiones (CC) el contenido de materia orgánica aparece como una variable de importancia, especialmente en los horizontes A (regresión 2), donde explica el 27% de la variación, y sobre todo en los horizontes arenosos (regresión 4), donde explica el 69,4% de la variación. Este efecto seguramente deriva de la importancia de la materia orgánica en el desarrollo de la estructura y del efecto de ésta en la retención de agua a altos potenciales de matriz. Es también muy importante el efecto de la materia orgánica en la retención de agua a -10 KPa en los horizontes B (21% de la variación explicada), aunque en conjunto, las variables manejadas en este caso explican muy poco del total de la variación observada (30,9%).

En tercer lugar, la variación del contenido de agua gravimétrico a -1500 KPa de potencial de matriz está principalmente explicada por el contenido de arcilla. Esto está de acuerdo con el concepto de que el agua retenida con alta energía se encuentra en los espacios de intercapa de los minerales arcillosos. En el conjunto de todos los horizontes y en el horizonte A, la contribución del contenido de arcilla a la explicación de la variación total es de 58,82 y 53,3% respectivamente. El descenso de dicha contribución a 24% en los horizontes B, debe estar también explicado por un estrecho margen de variación del contenido de arcilla.

En cuarto término, la materia orgánica realiza aportes de entre 8 y 5% a la explicación de la variación del contenido de agua retenido a -1500 KPa de potencial de matriz. Se trata de una contribución menor pero significativa, excepto en el caso de los horizontes B (regresión 7).

CONCLUSIONES

- La retención de agua a bajos valores de potencial de matriz no es la misma según se determine en muestras perturbadas o imperturbadas.
- A medida que crece la retención de agua gravimétrica al potencial de matriz de -10 KPa, la estimación en muestras perturbadas sobreestima en forma creciente la estimación hecha en muestras imperturbadas. La tendencia se invierte a bajas retenciones de agua (suelos más arenosos).
- Usando la forma clásica de estimar la retención de agua volumétrica a bajos potenciales de matriz, esto es, multiplicando la retención de agua gravimétrica en muestras perturbadas por la densidad aparente de muestras imperturbadas, se obtienen valores que con frecuencia creciente (hasta un 25%) superan la porosidad total del suelo a medida que aumenta el contenido de arcilla.
- La capacidad de campo del suelo, que otros trabajos muestran como razonablemente estimada por el agua retenida a -10 KPa de potencial de matriz en muestras imperturbadas, debe estimarse por determinaciones directas, o, para casos en que la precisión requerida es baja, por las regresiones 1 y 2 (cuadro 2).

- Para la estimación del coeficiente de marchitez permanente en base volumétrica, puede hacerse la determinación gravimétrica del agua retenida a -1500 KPa de potencial de matriz en muestras perturbadas y multiplicarla por la densidad aparente del suelo imperturbado. Para fines menos exigentes puede estimarse tanto por la regresión presentada por Fernández (1979) en base a la composición granulométrica y el contenido de materia orgánica, como por la regresión lineal (figura 5) a partir del dato de retención a -10 KPa de potencial de matriz, cuando se posee esta información.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLISON, L.E. Organic carbon. In *Methods of soil analysis, Part II*, Agronomy No. 9, C.A. Black et al. eds., ASA. pp: 1367-1378. 1965
2. ARIAS, P.E. y MILLAR, A.A. Relaciones hídricas de tres suelos regados de la zona central de Chile. *Turrialba (Costa Rica)* 23 (3): 275-283. 1973.
3. BARTELLI, L. J. and PETERES, D.B. Integration soil moisture characteristics with classification units of some Illinois soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 23:149-151. 1959.
4. BURGOS Y CORSI. Constantes hidrológicas de dos suelos de Pastura de Colonia. CIAAB/LE, MGAP. Bol. tec. No. 6 24p. 1967.
5. CAYOTA, S; FREIRIA, H. Y PETRAGLIA, C. Caracterización física, química y mineralógica de algunos suelos de la Asociaciones Arroyo Blanco, Los Mimbres y Zapallar (Departamento de Cerro Largo). Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía, 1981. 250 p.
6. DAY, P.R. Particle fractionation and particle-size analysis. In *Methods of soil analysis, Part I*, Agronomy No. 9, C.A. Black et al. eds., ASA pp. 545-567. 1965.
7. DE JONG, R., CAMPBELL, C.A. and NICHOLAICHUK, W. Water retention equations and their relationship to soil organic matter and particle size distribution for disturbed samples. *Canadian Journal of Soil Science* 63: 291-302. 1983.
8. DURAN, A. y HOFSTADTER, R. Caracterización hídrica de los suelos de CALPICA. *Agrosuelos-consultores*, Junio, 1985. 28 p.
9. ELRICK D.E. and TANNER, C.B. Influence of sample pretreatment on soil moisture retention. *Soil Science Society of America Proceedings* 19: 279-282. 1955.
10. FERNANDEZ, C.J. Estimaciones de densidad aparente, retención de agua disponible en el suelo a partir de la composición granulométrica,

- porcentaje de M.O. In Reunión de la Facultad de Agronomía, 2a., Montevideo, 1979. Trabajos presentados. Montevideo, 1979.
11. GARCIA, F. y CARDELLINO, G. Metodología empleada en parcelas de escurrimiento y avance de resultados obtenidos en Aguas Blancas. Proyecto de investigación sobre Conservación de Suelos y Aguas. Montevideo, MAP-DUMA/CIAAB/DS, 1983.
 12. GARDNER, W. Water content. In Methods of soil analysis, Part I, Agronomy No. 9, C.A. Black et al. eds., ASA; pp 82-127. 1965
 13. GHOSH, R.K. Estimation of soil moisture characteristics from mechanical properties of soil. Soil Science 130:60-63. 1980.
 14. HILLEL, D. Introduction to soil physics. Academic Press, 364 p. 1982.
 15. HOFSTADTER, R. Influencia de la composición mecánica y del contenido de materia orgánica sobre la disponibilidad de agua de los suelos. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1973. 27 p.
 16. JAMISON, V.C. and KROTH, E. M. Available moisture storage capacity in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soils. Soil Sci. Soc. of Amer. Proc. 22: 189-192. 1958.
 17. KRAMER, P. Water relations of plants. Academic Press, 489 p. 1983.
 18. KROTH, E.M. and JAMISON, V.C. Available water-storage capacity estimates of Terraced claypan soils. Soil Science Society of America Proceedings 24: 146-147. 1960.
 19. LABELLA, S. y ALVAREZ, G. Humedad disponible y fácilmente disponible en algunos suelos del Uruguay. Montevideo, Facultad de Agronomía, 1969. (Mimeografiado).
 20. MARSHALL, T.J. y HOLMES, J.N. Soil physics. Cambridge Univ. Press, 341 p. 1979.
 21. RICHARDS, L.A. Sample retainers for measuring water retention by soil. Soil Science Society of America Proceedings 20 (3): 301-302. 1956.
 22. RUZ, E., GARCIA-HUIDOBRO, Y. y ALCAYAGA, S. Caracterización hídrica y relaciones entre las propiedades físicas en suelos regados de la Provincia de Santiago. II. Correlación de métodos para determinar constantes hídricas. Agricultura Técnica 37: 49-54. 1977.
 23. SGANGA, J.C. y TERZAGHI, A. Características físicas de los principales suelos agrícolas de Canelones-Montevideo; su interpretación agronómica. Parte II. Agua disponible del suelo. Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Dirección de Suelos. Boletín Técnico No. 8. 46 p. 1982 .

24. SILVA, A. y GARCIA, F. Comparación de técnicas para determinar en el laboratorio la retención de agua a bajas presiones. In 7ma. Reunión Técnica, Facultad de Agronomía, Montevideo, pp; 48-49. 1985.
25. TAYLOR, S.A. and ASHCROFT, G.L. Physical edaphology. San Francisco, Freeman. 533 p. 1972.
26. UNGER, P.W. Water Retention by core and sieved soil samples. Soil Sci Soc. Amer. Proc. 39: 1197-1200. 1975
27. YOUNG, K.K. A method of making moisture desorption measurements on undisturbed soil samples. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26: 301. 1962.
28. YOUNG, K.K. and DIXON, J.D. Overestimation of water content at field capacity from sieved sample data. Soil Sci. 101: 104-107. 1966.

Biblioteca de la FAGRO

ID: 00249 - 1988 - 10 - 6



Boletín de investigación
1988. no. 10 . ej. 6