

RELACIONES TENSIÓN-HUMEDAD
EN ALGUNOS SUELOS DE CUBA

RAPPORTS ENTRE LA TENSION ET L'HUMIDITÉ
DANS QUELQUES SOLS CUBAINS

J. HERRERA PUEBLA, G. CID LAZO, Ma. A. LLANOS

INTRODUCCIÓN

La humedad del suelo se expresa en uno de los dos modos siguientes: Por la cantidad de agua que el contiene o por la tensión con que esta agua está retenida. El primer modo de expresión es necesario cuando se trabaja en el balance de ganancias y pérdidas de agua, mientras que el segundo permite conocer el movimiento y la disponibilidad del agua para las plantas.

Durante las últimas dos décadas, en Cuba se ha realizado un notable esfuerzo en la determinación de los requerimientos de agua por los cultivos y el límite de humedad del suelo al que es necesario aplicar el riego. Gran parte de estos resultados, al referirse a la disponibilidad del agua en el suelo, relacionan esta última con una fracción de la cantidad de que se dispone cuando el suelo se encuentra a capacidad de campo.

Este método de expresión, si bien es simple, tiene el gran inconveniente de ser válido solo para la combinación suelo-cultivo-condiciones climáticas del momento en que se realizó el trabajo. Por esto, con el avance del conocimiento de la relación agua suelo-planta, las investigaciones en este campo utilizan más frecuentemente el nivel de energía con que se retiene el agua en el suelo (8) como el modo de expresión de su disponibilidad por los cultivos.

La respuesta de las plantas a la humedad parece estar más relacionada con el trabajo requerido para extraer una unidad de agua que con cualquier otro factor aislado (14).

A la tenacidad con que el suelo retiene el agua se le llama comunmente tensión de la humedad en el suelo (13), la cual depende en última instancia de la cantidad de agua que contiene.

La curva que relaciona la cantidad con la tensión se le denomina curva de tensión-humedad. La relación mutua entre el contenido de humedad y la tensión a que la misma se retiene por el suelo depende en gran medida del tamaño y la disposición geométrica de los poros (11), de ahí que la curva tensión-humedad permita obtener información sobre la estructura de los poros del suelo (2).

Los principios físicos, los conceptos básicos así como el uso de diferentes aparatos para la determinación de la relación tensión humedad han sido ampliamente discutidos en la literatura especializada. (2,10,11,16,19).

El concepto de capacidad de campo, originalmente definido por Vaihneyer y Hendricson (22) plantea que la capacidad de campo es la cantidad de agua que retiene el suelo después que el exceso de la misma ha drenado y el movimiento vertical hacia abajo materialmente ha cesado, lo cual usualmente tiene lugar entre los dos o tres días después de la lluvia o el riego, para suelos permeables de textura y estructura uniforme. La determinación lo más exacta posible de este valor es fundamental en la proyección y explotación de los sistemas de riego y drenaje.

Para la determinación de esta constante se utilizan a menudo métodos de laboratorio en lugar de la medida directa en el campo y según Peters (15) el más común es el que relaciona el contenido de agua con un determinado valor de tensión de humedad.

Richards y Weaver (17) definieron la tensión de 0,3 atmósfera como el valor más común y desde entonces se ha usado intensivamente como sinónimo de la capacidad de campo.

Para los suelos cubanos existe escasa información al respecto. Fantova (5) determinó la curva tensión-humedad en tres suelos ferralíticos y señaló el valor de 0,3 atmósfera como el más cercano a la

capacidad de campo, pero no comparó los valores con los obtenidos en el campo. Díaz y Harwood, (18), en suelos ferralíticos rojos compactados al comparar los valores de la tensión a 0,3 atmósfera con los obtenidos en el campo (33,2 y 34,5% de humedad respectivamente) no reportaron diferencias significativas.

Carrillo (1) también comparó los resultados de campo con los de la membrana en el laboratorio y concluyó que en los suelos ferralíticos, pardos sin carbonatos y vertisuelos los valores de tensión más cercanos a la capacidad de campo fueron de 0,1, 0,6 y 1 para respectivamente cada uno de los suelos por él estudiados. Otros resultados en suelos de diferentes texturas en áreas tropicales y templadas también coinciden al afirmar que el valor de 0,3 atmósfera no es el más adecuado como valor de tensión que se relaciona con el contenido de humedad del suelo a capacidad de campo (7,12).

La necesidad de contar con datos precisos de los constantes de humedad del suelo constituyen un objetivo de primera importancia en el programa de determinación del momento de riego por el método biclimático (9) y en la proyección de los sistemas de riego y drenaje. En este sentido se han introducido en los laboratorios relaciones con la física del suelo el equipo de olla y membrana según el modelo de Richards, el cual tal vez pudiera sustituir, de determinarse las constantes adecuadas, los engorrosos y difíciles determinaciones de campo.

En este trabajo se plantean algunos de los primeros resultados obtenidos en varios suelos en el país con vistas a cubrir el objetivo anteriormente planteado y al mismo tiempo se discuten las posibilidades de aplicación de las curvas tensión-humedad en el diseño y explotación de los sistemas de riego y drenaje.

MATERIALES Y METODOS

Los suelos analizados y sus características físicas más importantes (13) se muestran en la Tabla 1.

Para la obtención de las curvas de tensión-humedad se utilizaron muestras alteradas tamizadas a 0,2 mm. La técnica empleada fue la descrita en la metodología para la determinación de las propiedades hidrofísicas (13). Las determinaciones en el rango de 0,002 a 3

bar fueron obtenidos en la cámara de presión con plato de cerámica (de rango 1 a 3 bar) y las tensiones superiores en la cámara de presión con plato de 15 bar.

De cada profundidad estudiada (acorde al perfil genético del suelo) se tomaron 3 muestras por tensión. Los valores obtenidos se ajustaron a una ecuación de la forma:

$$Y = ab^{-X}$$

donde:

Y= Tensión de humedad en el suelo.

X= % de humedad en base al peso del suelo seco.

a y b = constantes de la ecuación.

La capacidad de campo se determinó in situ por el método de la plazoleta.

El valor determinado correspondió a la humedad presente en el suelo 48 horas después de la inundación acorde a la metodología asumida para ese fin.

Para la clasificación del espacio poroso, de acuerdo a la tensión de retención de agua en el suelo se utilizó el criterio de distribución siguiente:

<u>Término</u>	<u>Tamaño</u>	<u>Principal función</u>
Macroporos	100 micron	Aeración y drenaje
Mesoporos	30-100 micron	Conducción del agua
Microporos	30-3 micron	Retención de la humedad

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 1 a 4 se muestran las curvas de tensión-humedad para los suelos estudiados. Las ecuaciones correspondientes a cada una se presentan en la Tabla 2. En todos los casos se obtuvo un coeficiente de determinación altamente significativo, que indica el adecuado ajuste del modelo $Y = a b^{-X}$ seleccionado como el de mejor ajuste para la expresión de la relación entre la tensión y el contenido de humedad en el suelo.

Para el % de humedad a capacidad de campo (Tabla 3) la tensión va

rió entre 0,1 y 0,6 bar; sólo en dos de los suelos considerando la humedad obtenida se correspondió con el valor de 0,3 bar, que comunmente se reporta como el índice de la capacidad de campo. Resultados obtenidos en suelos ferralíticos, Gley ferralíticos y vertisuelo (1) en Cuba señalaron anteriormente que la tensión de 0,3 bar no debía considerarse como el mejor indicador de la capacidad de campo. En Zambia, Mc Lean y Yager (12) lo trabajan con algunos Oxisoles, vertisuelos, Inceptisoles y Entisoles mostraron que la tensión entre 0,1 y 0,2 bar se aproximó mejor a la capacidad de campo. Según estos autores para el grupo de suelos por ellos investigados cuando el agua disponible se calculó como la diferencia entre 0,3 y 15 bar, el resultado fue una subestimación del agua disponible en un rango del 35%. Según los resultados de este trabajo, al escoger el valor de 0,3 bar como el límite superior de agua aprovechable, se puede subestimar la capacidad de almacenamiento de agua entre el 20 al 80% de su valor real.

En el concepto clásico de capacidad de campo se asume que una vez alcanzado este valor de la humedad del suelo, la filtración del agua se realiza a un ritmo muy lento, producto de que los macroporos han sido vaciados. La razón de este comportamiento está dada en que la velocidad de drenaje depende del contenido de humedad (gradiente de potencial) y la conductividad hidráulica en condiciones no saturadas (20) del volumen de suelo considerado, por lo que no hay razón para suponer que esta llegue a ser nula a un solo valor de tensión.

El rango de tensión de humedad señalado en los resultados de la Tabla 3, que se encuentran entre 0,1 y 0,6 bar confirman la afirmación anterior. Del mismo modo en las curvas de tensión humedad (fig 1 a la 4) puede notarse que para ligeros cambios de potencial en los rangos señalados anteriormente hay significativos cambios en el contenido de humedad.

La porosidad total varió poco entre los suelos estudiados, sin embargo, el espacio poroso drenable (Tabla 4) y el agua fácilmente aprovechable tuvo notables contrastes. En los suelos ferralíticos la capacidad de drenaje fue del 23 a 50% de la porosidad total, mientras que en los suelos afectados por sales y en el suelo muy plástico los valores no sobrepasaron el 4%.

El nivel más bajo de agua fácilmente aprovechable correspondió al

suelo oscuro plástico y fue del 55% del agua útil total. En los suelos ferralíticos este valor fluctuó entre 60 a 67%, mientras que en los suelos salinos tuvo un promedio de 62%.

Al considerar el valor de agua útil se estimó como la humedad contenida entre la tensión a capacidad de campo y 15 bar, de ella se tomó los valores entre capacidad de campo y la tensión de 1 bar como agua fácilmente utilizable.

Este valor de 1 bar es corrientemente reportado en la literatura como el nivel del límite productivo para riego (6,8) y coincide también con los valores estimados para los suelos ferralíticos en experimentos de régimen de riego en Cuba (21).

Según los datos de Enriquez y Alvarez (4) para estos mismos suelos y los valores de retención de humedad a 0,03 bar (correspondiente a los macroporos) se confeccionó la Tabla 5.

La conductividad hidráulica (en condiciones no saturadas) y la humedad retenida a un nivel dado de tensión están fuertemente relacionados (20). La tensión que retiene el agua en el suelo depende del tamaño del poro en que esta agua está retenida. De este modo, un uso importante de la curva de tensión humedad está dado por la posibilidad de estimar la distribución del tamaño de los poros, de lo cual pueden derivarse las características de drenabilidad en el estudio de los suelos.

CONCLUSIONES

El uso de un valor fijo de tensión para la estimación de la capacidad de campo debe realizarse con extrema precaución. La falta de un nivel de humedad constante en el suelo como valor fijo de la capacidad de campo en la mayor parte de los casos y la influencia de las variaciones de texturas en capas adyacentes de suelo (3) y la cercanía del manto freático pueden alterar considerablemente el valor obtenido. Dado que en los métodos laboratorio cada capa de suelo se trata por separado, no se mide la influencia de unos sobre otros, de ahí que las determinaciones de laboratorio solo muestran características aisladas.

Teniendo en cuenta lo anterior y de acuerdo con lo planteado

por Vucic (23) puede señalarse que no existe un método de laboratorio capaz de determinar con exactitud el valor de Capacidad de Campo. Sin embargo, la determinación de la curva de tensión-humedad (como propiedad hidrofísica del suelo) brinda una valiosa información sobre la disponibilidad de agua por las plantas, sobre todo si se tiene en cuenta que existe un rango limitado de tensiones en el suelo dentro de los cuales los cultivos pueden satisfacer lentamente sus requerimientos hídricos.

Las curvas de tensión-humedad pueden ser usadas para definir la estructura del suelo en función del tamaño de los poros que conforman el espacio poroso. La permeabilidad en condiciones de suelos saturados se puede relacionar con la cantidad de poros mayores. De igual modo en el caso de suelos no saturados, la permeabilidad se relaciona de igual modo con la cantidad de poros de un tamaño tal que se mantienen saturados a un nivel dado de tensión. Este valor se consideró en este trabajo como el de aquellos poros que se mantenían saturados con tensiones menores de 0,03 bar. Para la determinación de la porosidad de drenaje no es necesario calcular la curva completa, ya que el valor de 0,03 bar define el límite de la macroporosidad.

Los usos y limitaciones de la relación tensión-humedad están dados por los objetivos que se persiguen con su determinación, de ahí que esta medida no sustituya otros métodos de campo para estimar la relación agua-suelo, sin embargo tienen valor práctico en la caracterización física del suelo.

BIBLIOGRAFIA

- CARRILLO, O. 1980: Estudio de diferentes métodos para determinar el momento de riego. Informe Interno IIRD, PPE 02-31.
- CHIDS, F. C. 1969: An introduction to the Physical basis of soil-water phenomena. Wiley. Inter-science: London.
- CLOTHIER, B. E.; D. R. Scotter; J. P. Korr, 1977: water retention in soil underlain by a gorse textured layer: Theory and field application. Soil Sci, 58:385-90.
- ENRIQUEZ, J. L., Piedad Alvarez, 1985: La conductividad hidráulica de algunos de los principales suelos agrícolas cubanos y su relación con el drenaje. Informe, Interno. IIRD.
- PONTOVA MARTA, 1977: Curva tensión humedad en suelos cubanos para el cultivo de la caña de azúcar. Voluntad hidráulica, 41:11-14.
- GAVANDE, S. A. 1982: Física de Suelos. Principios y aplicaciones. Editorial Limusa, S.A. México 1, D.F.
- GRADWELL, M. W; 1968: The moisture-holding properties of walka to soils and methods of their determination. N. 7. Journal of Agric. Res. 11:631- 54.
- HAGAN, R.; J. I., STEWART, 1972: Water deficits-Irrigation design and programming. J. Irrig. and Drainag. División ASCE, vol. 98, no. IR-2 pp 215-237.
- IIRD-MINAG, 1984: Informe Pronóstico de Riego Campaña 1983-84. Ediciones CIDA, La Habana.
- KOHNKE, H., 1969: Soil Phisica. Mc Graw Hill: New York.
- MARSHALL, T. J., 1959: Relations Between Water and soil. Tech. com. monwealth Bureau of soils, Harpeden.
- MC LEAN, A. H., T. V. YAGER, 1972: Available water capacities in Zam_bion Soils in relation to pressure plate measurements and particle size analysis. Soil sci, 113:23-29.
- MINAG, 1984: Metodología para la determinación de las propiedades hicrofísicas de los suelos. pub. Interna.
- PALACIOS, E. U.; J. L. JASEADO, 1979: Método para estimar la tensión del suelo en función de su contenido de humedad. Colegio Post. graduado Chapingo, México.

- PETERS, D. B. 1965:Water availability in methods of soil analysis (Ed. C.A. Blak) Agronomy 9. AM. Soc. Agron, Madison.
- RICARD, L. A.; L. R. WEAVER, 1943:Fif teen atmosphere percentage as related to the permanent wilting percentage. Soil Sci. 56: 331-9.
- RODRIGUEZ, LOURDES, CH., HARDWOOD, 1979:Características Físicas y Químicas de los suelos de la Estación Experimental del tabaco, San Antonio de los Baños, La Habana. Cienc. Tec. Agric. Tabaco, 2:1-2, p 41-70.
- ROSE, C. W. 1966:Agricultural Physica, Pergamon: Oxford.
- SCOTTER, D. R. 1976:Field Capacity and available Soil Water, Proceeding of soil and Plant water-Symposion, Palmerston North, 25-27 may. p. 3-11 N.Z.
- SOTOLONGO, B. 1984:Influencia del riego sobre los rendimientos y el efecto económico de la agricultura. Ponencia evento técnico productivo de riego y drenaje IIRD.
- VEIHMEYER, F.J.; HENDRICKSON, A.N. 1949:Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soils. Soils Sci. 68:75-94.
- VUCIC, N. 1979:Irrigation of Agricultural Crups. Faculty of Agriculture, Nuvi SAD vojvodina.

FIGURAS

FIGURES

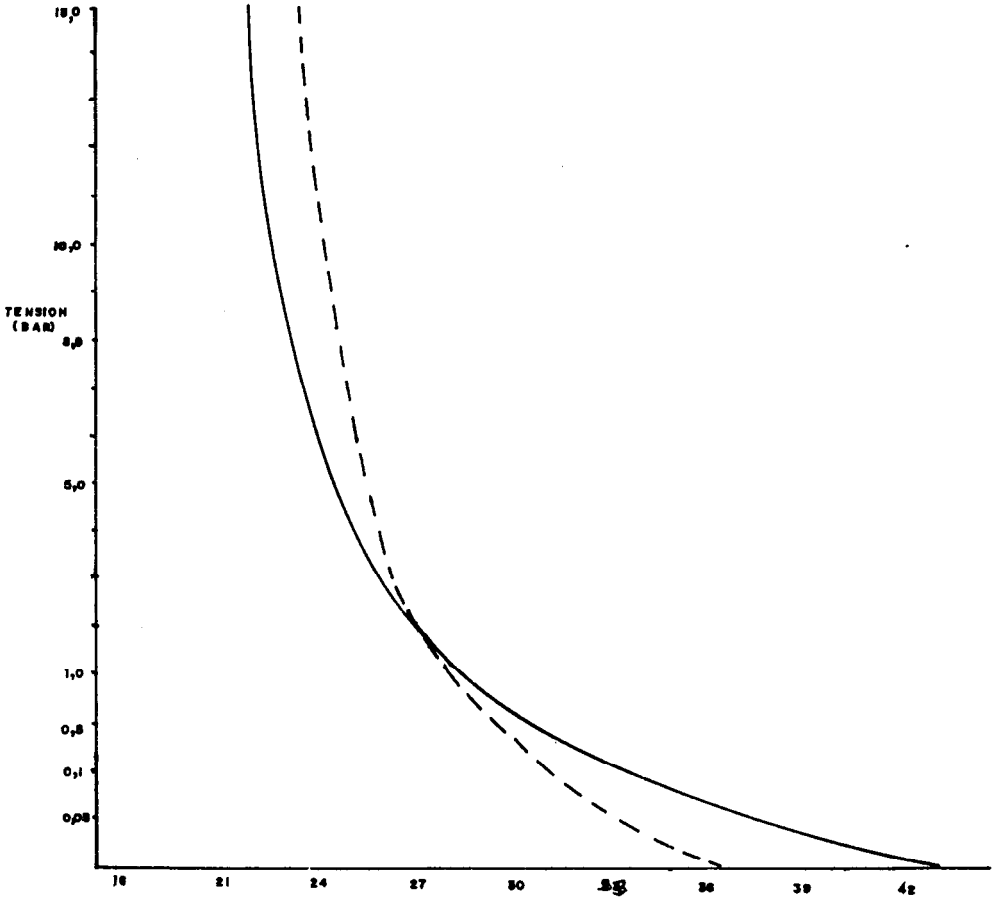


Fig. 1 : Curva tension-humedad en los suelos ferralíticos rojos típicos (—) y lixiviados (---)

Fig. 1 : Courbe tension-humidité dans les sols ferrallitiques rouges typiques (—) et lessivés (---)

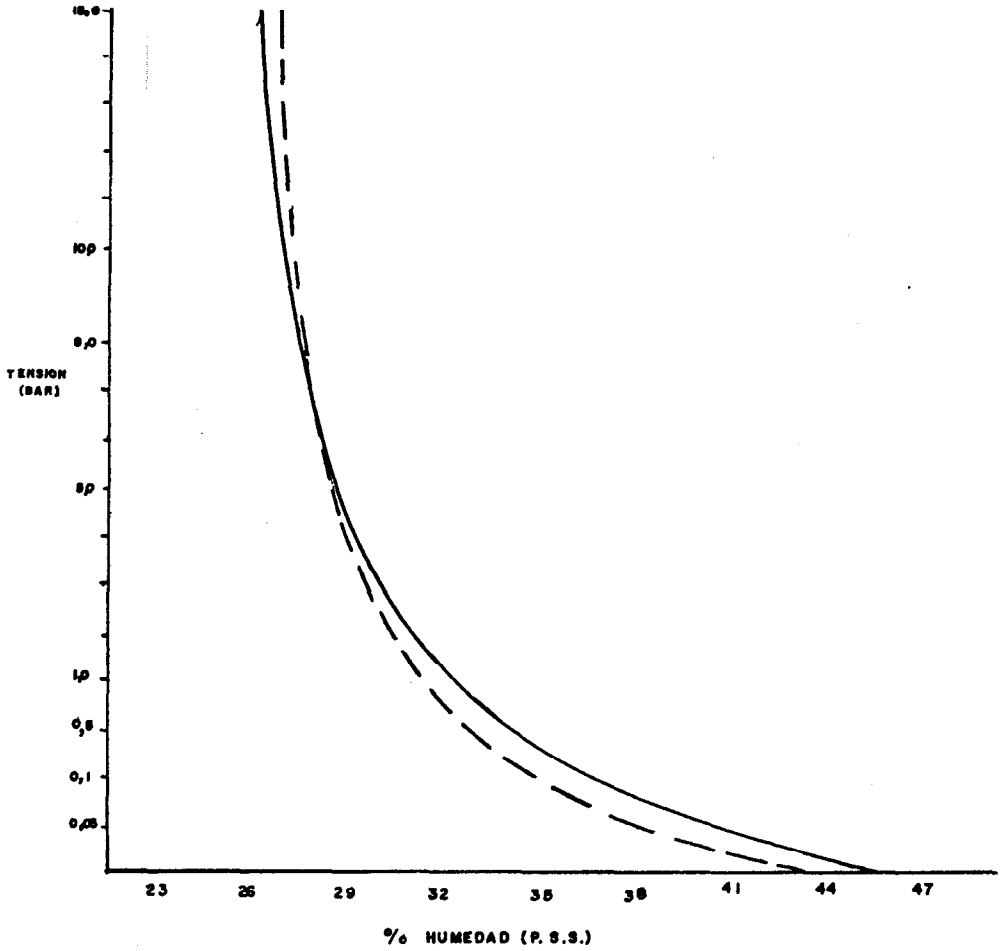


Fig. 2 : Curva tensión-humedad en los suelos ferralíticos compactados

Fig. 2 : Courbe tension-humidité dans les sols ferrallitiques compacts

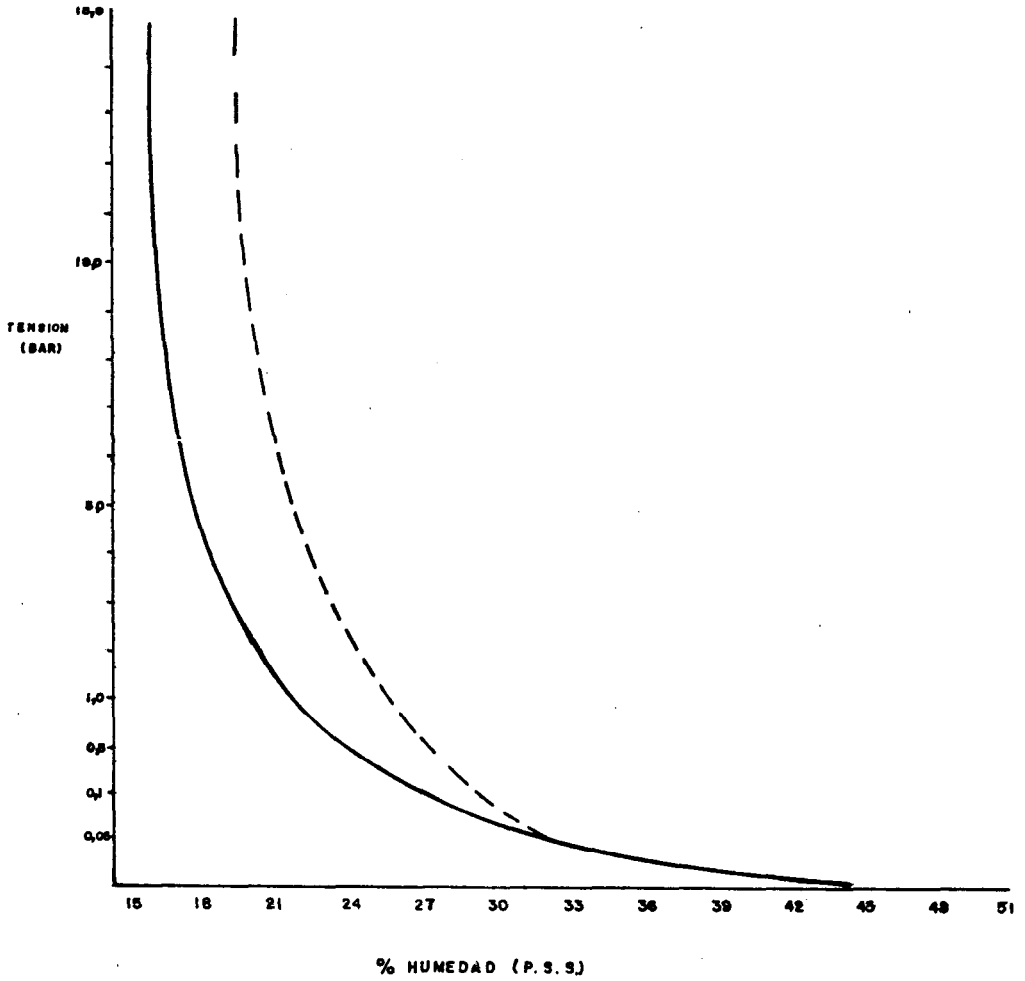


Fig. 3 : Curva de tensión-humedad en suelos aluviales salinizados (—) y Solonchak (---)

Fig. 3 : Courbe tension-humidité dans les sols alluviaux salins (—) et Solonchak (---)

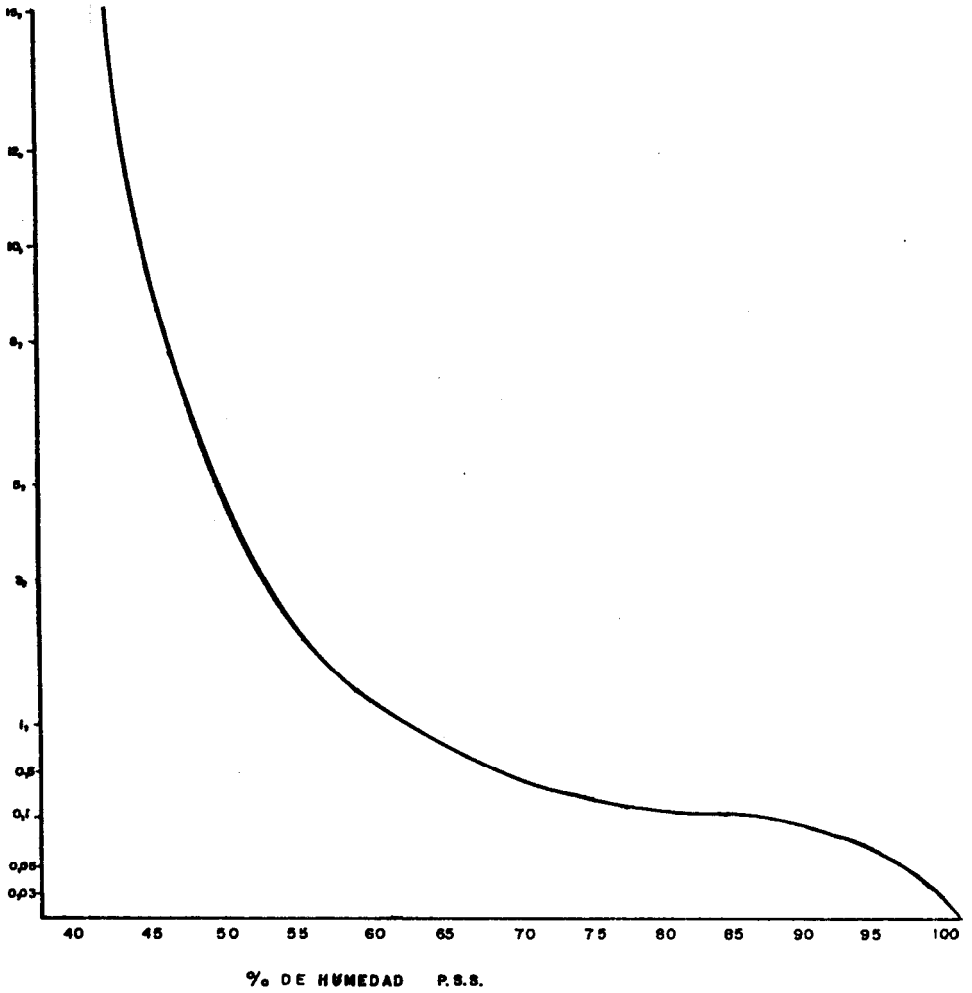


Fig. 4 : Curva de tensión-humedad del suelo oscuro plástico gleyzoso

Fig. 4 : Courbe tension-humidité du sol foncé plastique à gley

TABLAS

TABLEAUX

Suelos Tipo	Subtipo	Propiedades hidrofísicas en la profundidad de 0-40 cm (promedio)						
		Textura (%)			C.C.	d.A. ₃	d.R.	Porosidad
		Arena	Limo	Arcilla	% PSS	g/cm ³		total %
Ferralítico Rojo	Típico	6,7	11,8	81,5	34,8	1,05	2,74	61,6
Ferralítico Rojo	Lixiviado	19,9	8,3	71,8	35,6	1,09	2,67	59,1
Ferralítico Rojo	Compactado	15,6	19,1	65,3	34,0	1,09	2,70	59,3
Ferralítico Rojo	Compactado	19,3	21,2	59,5	33,2	1,11	2,50	55,6
Aluvial	Salinizado	26,0	28,0	46,0	33,6	1,28	2,60	51,3
Solanchak		41,5	25,6	32,9	32,6	1,48	2,60	43,5
Oscuro Plástico Gleyzoso	Gris	18,7	12,5	68,9	71,5	0,95	2,70	64,8

Tabla 1 : Tipos de suelos estudiados y sus Propiedades Hidrofísicas

Suelos		C.Campo %P.S.S. In situ	%de humedad (PSS) a 0,3 bar	Tensión de humedad a C.Campo	Agua útil m ³ /há estimada entre C.C. y 15 bar.		
					Tensión 0,3	Tensión real	Dif
Ferralítico Rojo	Típico	34,8	31,9	0,1	412	508	96
Ferralítico Rojo	Lixiviado	35,6	30,1	0,2	292,1	532	240
Ferralítico Rojo	Compactado	34,0	35,3	0,4	392	336	-56
Ferralítico Rojo	Compactado	33,2	33,4	0,3	302	293	- 9
Aluvial	Salinizado	33,6	25,1	0,2	502	936	434
Solanchak		32,6	28,3	0,6	545	799	254
Oscuro Plástico Gleyzoso	Gris	71,5	73,9	0,3	1235	1144	-91

Tabla 2 : Relaciones entre le contenido de humedad a capacidad de campo
(determinado in situ), la tensión equivalente y el agua util

Tipo de suelo	Espacio poroso drenable (%)	K (m/d)	Categoría de drenaje
Ferralítico Rojo	13 - 30	3 - 6	I y II muy buena a excelente. Altamente permeable o muy permeable.
Aluvial salinizado y Solonchak	1,9 - 0,7	0,1 - 0,49	V Regular. Baja permeabilidad.
Oscuro Plástico Gleyzoso	0,01	0,029	VII Muy mala. De muy baja permeabilidad a prácticamente impermeable.

* Datos tomados de Salgueiro y Alvarez (1985).

Tabla 3 : Relaciones entre el espacio poroso, la conductividad hidraulica y las categorías de Drenaje en los suelos estudiados