

## CURVAS DE pF DE VEINTISIETE TIPOS Y UN COMPLEJO DE SUELOS DEL TOLIMA Y DEL VALLE, COLOMBIA (\*)

Por **Adel González M.** y **Antonio Delgado P.**

### I. INTRODUCCION

Hoy día son muchas las investigaciones que se han realizado para estudiar la relación que existe entre el agua y el suelo por la importancia que representa en la agricultura para el buen crecimiento de las plantas de producción económica.

Cada serie del suelo, cada fase, cada tipo, constituye un problema al desarrollar un plan de irrigación debido a que, a pesar de los estudios constantes, cada uno de ellos representa condiciones distintas de absorción y retención de agua. Son pues las curvas de pF, en todo suelo, la base para un correcto plan de riego cuando queremos conseguir en una explotación agrícola los mayores ingresos netos.

Consiste el objeto del presente trabajo en las diferentes determinaciones de los coeficientes higroscópicos, de marchitamiento, de humedad equivalente y de saturación con la mira de obtener datos suficientes para dibujar curvas de pF para los diferentes suelos en estudio de los departamentos del Tolima y Valle. Todas las determinaciones son hechas a partir de un suelo seco al aire y pesado a través de un tamiz de 2 mm. para la estimación de la humedad se lleva el suelo a la estufa durante 20 - 24 horas a 105 - 110°C. Los cálculos se expresan en base seca y la fórmula general es la siguiente:

$$Ph = \frac{Pa}{Ps - Pa} \times 100$$

en donde

Ph = % de humedad del suelo en base seca

Pa = Peso de agua en Ps.

Ps = Peso del suelo seco a la estufa + Pa

### II. REVISION DE LITERATURA

Lugo López (10) considera que los factores principales de un suelo en cuanto a su capacidad de retención de agua son: textura,

(\*) Síntesis de las tesis presentadas para optar el título de Ingeniero Agrónomo bajo la Presidencia del Profesor Hugh W. Hough, a quien los autores expresan su gratitud. Recibida para publicación en febrero 24 de 1954.

estructura y materia orgánica. Es conveniente tratar brevemente acerca de ellos ya que tienen gran importancia en los resultados de este trabajo. También trataremos bajo este capítulo del pF y de sus relaciones con el suelo.

A) **Textura.**— Generalmente la textura de un suelo puede ser gruesa, mediana, fina o muy fina. Se dice que un suelo es de textura gruesa cuando en él intervienen un alto porcentaje de arenas; que es mediana cuando se encuentra un mayor porcentaje de limo y que es fina cuando la arcilla constituye la mayor cantidad.

El limo es la partícula de tamaño intermedio entre la arena y la arcilla. Su proporción en el suelo influye en las buenas propiedades de aireación y drenaje.

Cuando un suelo es arenoso lo integran partículas de roca de tamaño relativamente grandes, su sistema capilar es simple, con espacios porosos grandes, de fácil aireación y rápido movimiento del agua atraída por la gravedad. Ellos son poco aptos para cultivos por cuanto tienen baja capacidad de retención de agua. Diametralmente opuestos son los suelos arcillosos, de partículas pequeñas, espacios porosos pequeños (mayor porcentaje de éstos) que retienen mayor cantidad de agua debido a su mayor fuerza cohesiva. El movimiento del agua debido a la gravedad es lento. Los suelos francos tienen propiedades intermedias entre arcillosos y arenosos. Son fáciles de trabajar, tienen buena aireación y buena capacidad de retención, y, en general, mejores condiciones para el crecimiento de las plantas.

Los coloides inorgánicos tienen su importancia en la capacidad de absorción y retención de agua de los suelos. Están constituidos por partículas de suelo que tienen su origen en la edafización de la roca madre y cuyo límite más alto se ha convenido que es de un micrón de diámetro. El límite de las arcillas se ha establecido en dos micrones. Usualmente al hablar de coloides encerramos en el término el contenido de arcilla que se encuentra en el suelo, más en este trabajo la estimación que se presenta en el capítulo IV es propiamente de coloides.

En cuanto a las arcillas, éstas se han dividido en silicatadas y de hidróxidos. Ambas son de constitución cristalina y las propiedades entre ellas no difieren apreciablemente. Otras propiedades de las arcillas son la plasticidad, la cohesión y la floculación.

Las clasificaciones en cuanto al tamaño de las partículas han sido varias, pero las más importantes aparecen en las tablas I y II.

## — T A B L A I —

Clasificación granulométrica según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos

Fracción	Límite de los Diámetros mm
Grava fina .....	2,00—1,00
Arena gruesa .....	1,00—0,50
Arena mediana .....	0,50—0,25
Arena fina .....	0,25—0,10
Arena muy fina .....	0,10—0,05
Limo (*) .....	0,05—0,002
Arcilla .....	0,002

## — T A B L A I I —

Clasificación granulométrica según la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo

Fracción	Límite de los Diámetros mm
Arena gruesa .....	2,00—0,20
Arena fina .....	0,20—0,02
Limo .....	0,02—0,002
Arcilla .....	0,002

B) **Estructura.**— La estructura del suelo está relacionada con el tamaño de los poros. La porosidad se refiere a la porción del suelo ocupada por agua y aire. En arena ocupa menos del 50%.

El hecho de un espacio poroso estar compuesto de grandes poros se ha denominado "porosidad no capilar" y tal espacio es ocupado por aire. El agua dreña fácilmente por ellos. El hecho de un espacio poroso estar compuesto de poros pequeños se denomina "porosidad capilar". Es en éstos en los cuales queda retenida el agua útil a las plantas.

Un suelo ideal debe tener igual cantidad de poros no capilares y por poros capilares con el fin de que su condición cultivable sea óptima.

El suelo arcilloso en contraste con el arenoso tiene excesivos poros capilares que retienen agua a veces en exceso y por lo tanto son poco aireados anegándose con frecuencia.

Las raíces de las plantas favorecen la estructura del suelo, pues

(\*) Hasta 1.938 el tamaño del limo era 0,05 a 0,005 mm. Esto debe tenerse en cuenta al hacer comparaciones con análisis granulométricos realizados antes de esa fecha.

al terminar su período vegetativo además de permanecer como materia orgánica incorporada, sirven como canales para facilitar la infiltración y aireación. También tienen importancia en cuanto mantienen el suelo en su sitio evitando la erosión.

**C) Materia orgánica.**— De ésta presentan especial importancia los coloides orgánicos que son formados por el humus que tiene su origen en los tejidos de las materias orgánicas animales y vegetales que al ser descompuestas por la disolución enzimática de los organismos del suelo se convierte en una masa oscura o parda oscura y que a diferencia de las arcillas no es de carácter cristalino sino amorfo.

Lyon, Buckman y Brady (9) presentan como un dato muy interesante de las propiedades del suelo en cuanto a la relación suelo-agua que el humus sintetizado absorbe de 4,5 a 5 veces más agua, de una atmósfera saturada, que las arcillas.

En el suelo los coloides inorgánicos y los orgánicos se encuentran en estrecha asociación.

Podemos con un sencillo experimento comprobar la capacidad de retención de agua de los suelos preparando una columna de arena y adicionando agua. Veremos que pasa a través de la masa más o menos rápidamente y que es poca el agua que queda en la arena; por el contrario, si colocamos una columna de suelo veremos que el agua agregada pasa más lentamente a través de la masa y es mayor la cantidad de agua retenida debido a los coloides que se encuentran en los intersticios formados por las partículas.

W. O. Robinson encontró en sus experimentos con 34 suelos diferentes en textura, origen y composición química a los cuales extrajo la materia coloidal, que ésta para los diversos suelos mostró una absorción más o menos constante cuando estuvo en equilibrio con una atmósfera de humedad relativa de 98,2% ( $H_2SO_4$ , 2% por volumen). La máxima absorción fue de 0,348 gramos de agua por gramo de coloide y la mínima 0,248 gramos (Wright, 21).

Según Robinson en este trabajo presentamos en porcentaje (en base seca) la estimación de los coloides de los tipos de suelos que se han estudiado de las diferentes series, utilizando el promedio de absorción por gramo de coloide que es de 0,298 gramos de agua (véanse tablas III y IV).

**Nota:** Los porcentajes se calculan fácilmente dividiendo la absorción de agua higroscópica (humedad relativa 98,2%, tablas III y IV) por el promedio 0,298 para obtener los gramos de coloide en la muestra que se usó en la experiencia. Luego se dividen los gramos de coloide por el peso de la muestra seca a la estufa y se multiplica por ciento.

D) **pF del suelo.**— Buckingham en sus estudios de humedad del suelo consideró e introdujo el término "Potencial Capilar" y lo relacionó como una medida de la fuerza con que el suelo retiene el agua. Expresó esta cantidad en términos del equivalente de una columna de agua que podía ejercer presión suficiente para mover, en un contenido de humedad dado, el agua del suelo; Schafield propuso el término pF para el logaritmo del potencial capilar, con el objeto de simplificar la medida y facilitar la representación gráfica del contenido de humedad y tensión (Robinson, 16). El potencial capilar o pF mide, inversamente, la humedad del suelo; es decir, que se incrementa a medida que la humedad decrece. Podemos ahora comprender que por la tensión superficial de las partículas el agua en el suelo se moverá de regiones de bajo pF hacia regiones de alto pF.

El pF se puede calcular de la curva de presión de vapor según la fórmula:

$$pF = 6,5 + \text{Log } 10 (2 - \text{Log } 10 H)$$

en la cual H representa la humedad relativa.

También mediante la técnica del punto de congelación:

$$pF = 4,1 + \text{Log } 10 T$$

en donde T representa el punto de congelación en grados centígrados.

Schofield (18) explica tres métodos para medir la humedad del suelo: 1) gravimétrico, 2) electrométrico, 3) tensiométrico. Pero son muchos los aparatos y las técnicas que miden las tensiones entre 0 y 1 atmósfera. Valores mayores se calculan con las fórmulas antes dichas de la presión de vapor y punto de congelación, y también siguiendo la técnica del diámetro de las partículas como la explica Purí (12); dice que fueron experimentalmente determinadas en suelos, mediante la técnica de la micropipeta para análisis ultramecánicos de suelos, las partículas de diámetro correspondiente a un pF 5,4 y que por extrapolación se determinaron otros diámetros de partículas más pequeñas hasta de  $10^{-7}$  centímetros, que corresponden a un pF 7. Hogentogler (6) muestra que la altura de ascensión en un tubo capilar para cualquier diámetro sería:

$$h = \frac{0,309}{d} \text{ cms.}$$

en donde d es el diámetro del tubo capilar en centímetros.

Slichter estudió las relaciones entre el diámetro de los tubos capilares formados en el suelo por las partículas (d) y el diámetro

de las partículas (D) en el caso de un suelo ideal. Concluyó que el valor de  $d$  en su parte más ancha del poro triangular entre las partículas correspondía a 0,288 veces el diámetro de las partículas.

Según esto se tiene:

$$h = \frac{0,309}{0,288D} = \frac{1}{D} \text{ aprox.}$$

Es decir que la altura de agua en centímetros requerida para mover agua del suelo es igual al inverso del diámetro de las partículas (Purí, 12).

Así tendremos que

$$h = \frac{1}{D}$$

y como  $pF$  es igual al logaritmo de  $h$  por definición, entonces

$$pF = \text{Log } 10 \times 1 - \text{Log } 10 D$$

$$pF = - \text{Log } 10 D$$

De aquí la importancia de calcular el diámetro promedio de las partículas para calcular valores teóricos.

En la tabla III podemos apreciar la relación entre el diámetro de las partículas, el  $pF$  y las atmósferas (Purí 12).

— T A B L A I I I —

Relaciones entre diámetro de las partículas,  $pF$  y atmósferas

Diametro partículas mm.	$pF$	Atmósferas
1	1	0,01
0,1	2	0,1
0,01	3	1
0,001	4	10
0,0001	5	100
0,00001	6	1.000
0,000001	7	10.000

Richards (15) estudió la relación entre la tensión y el contenido de humedad con un aparato que denominó "Pressure-cell" para una escala de tensión mayor que una atmósfera.

También son usados para medir la humedad del suelo aparatos denominados tensiómetros, que tienen una escala de 0 hasta 850 centímetros de agua; es decir, de 0 hasta 0,85 atmósferas. Miden entre el 80 y el 90% del agua aprovechable por las plantas.

Schofield y Dacosta sugirieron la depresión del punto de congelación como un método para estudiar las relaciones de energía desde el punto de marchitamiento permanente hasta la humedad equivalente y encontraron un pF de 4,2 (16 atmósferas) para el punto de marchitamiento, y Robert Gardner midió el potencial capilar en una amplia escala de contenidos de humedad con papel filtro calibrado que ponía en contacto con suelo húmedo (Russel y Richards, 17).

Livingston reemplazó por osmómetros raíces de plantas para medir la fuerza con que las mismas absorbían el agua del suelo, y Eilb encontró que las plantas con menor período vegetativo ejercían mayor fuerza de succión con sus raíces que las de mayor período (Albareda, 1).

Shull usó semillas del *Xanthium pennylvanicum*, como osmómetros naturales, para medir la fuerza con que el agua es retenida por los suelos (Baver, 2).

J. R. H. Coutts, estudió el curso de la centrífuga para la determinación de la humedad equivalente, usando el mismo suelo y la misma técnica, y encontró que fue: (Wright, 21).

$$22,60 + 0,18 \% \text{ (en base seca)}$$

Furr y Reeve (5) estudiando la escala de humedad del suelo distinguieron entre el primer punto de marchitamiento, que sucedía cuando morían las hojas basales (primer par de hojas) y que podía determinarse midiendo diariamente la longitud del tallo ya que ésta termina cuando las hojas basales mueren, y el último punto de marchitamiento, que sucedía con el marchitamiento total de las hojas. Entre este punto y la humedad equivalente observaron una variación en el contenido de agua entre 11 y 30% y que por tanto la relación entre los puntos no era constante. Estos investigadores lo mismo que Richard y Weaver (13), encontraron que la diferencia en contenido de agua entre el primero y el último punto de marchitamiento es pequeña, mientras que en tensión es bastante apreciable; y, que el primer punto ocurría entre 10 y 20 atmósferas. Thorne y Peterson (19) dicen que el último punto puede alcanzar una tensión hasta de 60 atmósferas; y además que a pesar del frecuente uso del porcentaje de marchitamiento permanente éste no puede emplearse para suelos salinos porque no se presentan las características comunes.

Coile (3) encontró que, a pesar de la creencia general de que las adiciones de materia orgánica aumentan la capacidad de retención de agua, trabajos con suelos diferentes en textura mostraron que tales adiciones aumenten ampliamente la humedad equivalente de los suelos livianos y poco el porcentaje de marchitamiento permanente; en los suelos pesados también hubo aumento en la humedad equivalente, aunque no en la misma proporción que en los livianos, mientras que el porcentaje de marchitamiento permanente se afectó mucho menos. Considera de poco valor el promedio 1,84 para calcular el porcentaje de marchitamiento con base en la humedad equivalente.

Generalmente se ha considerado la humedad equivalente como una medida de la capacidad de campo, pero tenemos que pensar que la primera es una constante mientras la segunda, cuya mejor determinación es directamente en el campo, se encuentra afectada por el perfil, la compactación, la porosidad, condiciones estas que no son las mismas en un centrífuga.

En este trabajo no se determinó la capacidad de campo de tal manera que repasamos algunos trabajos anteriormente efectuados para tener idea de su situación y condición como un punto de humedad del suelo.

Veihmeyer encontró que la humedad equivalente es una medida aproximada de la capacidad de campo para suelos de textura fina, pero que para arenas con humedad equivalente menores que 14% éstas fueron mas bajas que las otras; Browning, dedujo que la humedad equivalente podía ser una medida de la capacidad de campo, para suelos de medias a altas capacidades de retención de agua, mientras que para suelos en que la primera fue menor que 10% la segunda estuvo muy por encima; que en suelos de textura muy arenosa la capacidad de campo podía ser dos o más veces la humedad equivalente; Work y Lewis consideraron que un suelo pesado estaba en su capacidad de campo tres o cuatro días después de una lluvia intensa y que un suelo de textura intermedia, bien drenado, sucedía uno o dos días después (Thorne y Peterson, 19).

Richard y Weaver (13) determinaron tensiones entre 0 y 1 atmósferas con aparatos denominados "Pressure-plate" y "Suction-plate" y para la capacidad de campo encontraron una lectura de 0,1 atmósferas o 100 centímetros de agua; consideran que las relaciones entre la humedad equivalente y la capacidad de campo no siempre se conservan, porque las condiciones de compactación, estructura, disposición de espacios porosos y otros factores son bastante diferentes en un centrífuga en comparación con las condiciones en el campo; creen que no hay un método de laboratorio que determine las condiciones del campo, y prefieren una determinación en una muestra

que no ha perdido su estructura a aquellas en que el suelo se ha tamizado. Dicen que Dacosta midió el pF de la humedad equivalente mediante el punto de congelación y encontró que era de 3,07 y Day usando técnica diferente consiguió un valor de 2,7.

Veihmeyer y Hendrickson (20) expresan que la capacidad de campo es el agua retenida contra la fuerza de gravedad y manifiestan que tiene lugar dos o tres días después de una lluvia o una irrigación en suelos permeables de estructura y textura uniformes; que la capacidad de campo se encuentra afectada por algunos factores tales como textura uniformidad y profundidad; que el potencial de la humedad del suelo cuando se encuentra en el porcentaje de marchitamiento permanente está cerca de  $10 \times 10^6$  ergios por gramo y, además, que estos puntos son los más importantes en la humedad del suelo porque dan la cantidad de agua aprovechable para el crecimiento de las plantas.

Colman (4) reportó que al ser drenados pequeños bloques de suelo con una tensión de 1/3 de atmósfera la humedad retenida correspondió a la capacidad de campo del mismo suelo cuando se verificó la determinación en el campo.

En cada curva de pF de este trabajo podemos observar el pF correspondiente al suelo seco al aire y el porcentaje de humedad de la capacidad de campo mediante una simple interpolación, ya que el primero varió con los diferentes cambios de la humedad relativa, y la segunda, como mencionamos antes, no fue determinada en este trabajo. Para el trazado de las mismas hemos utilizado los valores de pF más recientemente encontrados (Lyon, Buckman y Brady, 9).

— T A B L A I V —

Relaciones de energía-humedad

Puntos de Equilibrio	pF
Saturación .....	0
Capacidad de campo .....	2,54
Humedad equivalente .....	2,70
Porcentaje de marchitamiento permanente .....	4,2
Coefficiente higroscópico (humedad relativa 98,2% .....	4,5
Suelo seco a la estufa .....	7,0

Nota: Estos valores se muestran en la Figura 1 que es una modificación que González ha hecho de la tabla presentada por Helmut Kohnke (Soil Science Society of America Proceedings, Vol. II p. 65. 1946), según datos encontrados en Purí (12) y Lyon, Buckman y Brady (9), con el objeto de que el lector pueda apreciar las relaciones entre tensiones, atmósferas y pF, lo mismo que algunos métodos de determinación tanto en el laboratorio como en el campo.

## III. MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron algunos suelos de los departamentos del Tolima y del Valle y se han considerado los nombres de series y denominaciones textuales del reconocimiento efectuado por los Ingenieros Agrónomos Irusta y Molina (7). (Véase apéndice).

Las determinaciones se hicieron con un equipo común de laboratorio, usando como planta indicadora la soya para el coeficiente de marchitamiento permanente.

**Determinación del coeficiente higroscópico.**— El coeficiente higroscópico se considera, generalmente, como el porcentaje de humedad de un suelo seco al aire, aunque más exactamente es el porcentaje de humedad de un suelo cuando ha estado en equilibrio con una atmósfera de humedad relativa determinada.

Es lógico que cuando calculamos el coeficiente a partir del suelo seco al aire no podemos considerarlo exactamente puesto que varía con los diferentes porcentajes de humedad relativa del medio ambiental.

En el presente trabajo se ha considerado la higroscopicidad del suelo seco al aire, por la necesidad de relacionar sus resultados con otros datos con el fin de encontrar el porcentaje total de saturación, como explicaremos más adelante.

Cuando queremos encontrar el coeficiente higroscópico de un suelo que ha estado en equilibrio con una atmósfera de humedad relativa conocida basta introducir las cajas con las muestras de suelo en un vaso desecador en el cual hay una solución de ácido sulfúrico concentrado al 2% por volumen a la temperatura del laboratorio. Con esta solución se consigue una atmósfera de humedad relativa de 98,2% y un pF de 4,5. Fue usada por W. O. Robinson (Wright, 21).

Cuando se ha conseguido un equilibrio, después de 6 o 7 días, se sacan las cajas de los desecadores y se determina su porcentaje de humedad mediante la fórmula general.

Albareda (1) y Baver (2) presentan otras humedades relativas que se consiguen con diluciones de ácido sulfúrico.

**Determinación del coeficiente de marchitamiento permanente.**— La cantidad de suelo a usar es variable. Algunos toman de 400 a 500 gramos. Otros toman más suelo. Hay quienes han usado tanto suelo como para contener arbustos.

Albareda (1) dice que este coeficiente se considera como el porcentaje de humedad retenida por un suelo cuando las raíces de las

plantas no son capaces de ejercer la fuerza de succión necesaria para aprovecharse de ella. La humedad al coeficiente de marchitamiento incluye la humedad higroscópica.

El procedimiento consiste en pesar de 400 a 500 gramos de suelo, que se llevan a cajas especiales (preferiblemente parafinadas) y a las cuales se le agrega agua hasta llevar el suelo a su humedad equivalente, o sencillamente hasta proporcionar el agua conveniente para una buena germinación.

Seguidamente se siembran semillas de una planta indicadora, en este caso se utilizó *Glycine soja*, y se espera hasta que las plántulas hayan desarrollado tres pares de hojas, habiendo efectuado los riegos que sean necesarios y colocado las plántulas a pleno sol. Si el suelo es infértil es conveniente agregar soluciones nutritivas con el fin de asegurar un desarrollo conveniente. Asegurado este desarrollo se lleva el suelo nuevamente a su humedad equivalente y se coloca la tapa de la caja cuidadosamente, colocando algodón en la perforación. Briggs y Shantz, quienes introdujeron este coeficiente (Baver, 2), recomiendan sellar la caja con una capa de parafina cuando no se usa tapa. El objeto de este sellamiento es evitar la evaporación y algún posible humedecimiento del suelo en estudio. Las plantas se dejan en estas condiciones hasta cuando el primer par de hojas muere. Seguidamente se llevan a una cámara húmeda durante una noche para observar si hay recuperación. De ser así, se colocan nuevamente al sol hasta conseguir su verdadero marchitamiento permanente. Los autores consideran que, generalmente, este punto sucede cuando mueren los dos primeros pares de hojas. Inmediatamente son tomadas una o dos muestras de cada caja para determinar su porcentaje de humedad. Durante este trabajo se utilizaron dos cajas por cada suelo considerando cuatro muestras por suelo; es decir, dos muestras por caja. Es conveniente separar de las muestras los pedazos de raíces con el objeto de obtener porcentajes representativos de la humedad del suelo. Las maneras de tomar las muestras son varias y es preferible que el operador haga uso de su criterio. Se calcula el porcentaje de humedad según la fórmula general.

**Determinación del coeficiente de saturación.**— Se considera como el porcentaje de la capacidad total de absorción de un suelo.

Anteriormente habíamos mencionado la determinación del coeficiente higroscópico del suelo seco al aire con el fin de relacionarlo con este procedimiento y calcular la saturación total. Las muestras para esta determinación fueron tomadas al mismo tiempo que las del coeficiente higroscópico con el objeto de partir de una misma condición atmosférica. Fueron colocadas en cajas especiales, las ca-

	PRESIONES		Diámetros de partículas mm.	pF	Métodos de Determinación Tensión	Determinaciones Humedad In situ	Constantes de Humedad del Suelo	Tipos de agua del Suelo
	Cms. de agua	Atmósferas (aprox)						
SECO	10.000.000	10.000	0,000001	7	Fresión de vapor		Sequedad Estufa	AGUA MICROSCÓPICA
	1.000.000	1.000	0,00001	6				
	100.000	100	0,0001	5				
	31.623	31		4,5				
HÚMEDO	15.849	15		4,2	Punto de Congelación Membra de Fresión Centrífuga	Punto de Marchitamiento	AGUA CAPILAR HUMEDAD FVIL	
	10.000	10	0,001	4				
	1.000	1	0,01	3				
	501	0,5		2,7				
	333	0,33		2,54				
	100	0,1	0,1	2				
SATURADO	10	0,01	1	1	Tensiómetros Nylon Tensiómetros	Humedad Equivalente Capacidad de Campo	AGUA GRAVITACIONAL	
	1	0,001		0				
						Saturación		

Helmut Kohler; Soil Science Society of America Proceeding, Vol. 11 p. 65 (Modificada por el autor)

Figura 1.— Relaciones de la humedad del suelo.

jas de Hilgard, en las cuales previamente se colocó un cuadrilátero de papel filtro número dos en el fondo, para evitar la salida del suelo ya que el fondo de estas es de anejo, hasta tener una capa de más o menos 1 centímetro de espesor; es decir, unos 30 gramos de suelo. Este es presionado tratando de igualar su condición de compactación con la del campo. Seguidamente los fondos de las Hilgards se ponen en contacto con agua durante 20-24 horas tiempo suficiente para conseguir la absorción de agua hasta la capacidad de saturación. Las Hilgards se retiran del agua con la cual estaban en contacto y se dejan drenar durante 30 minutos para ser pesadas nuevamente. Para estas pesadas no se requiere mucha precisión. Basta con una balanza de O'Haus. Se tienen:

- a) Peso de la caja Hilgard.
- b) Peso de la caja Hilgard —suelo seco al aire—
- c) Peso de la caja Hilgard— suelo saturado

**Determinación del coeficiente de humedad equivalente.**— Este coeficiente lo introdujeron Briggs y McLane (Piper, 11), y se define como el porcentaje de agua retenido por un suelo cuando ha sido sometido a una centrifugación, durante 40 minutos, igual a 2.440 r.p.m. Esta centrifugación equivale a una fuerza de 1.000 veces la gravedad. Se utilizó la centrífuga Briggs-McLane que tiene capacidad para 16 muestras o sean 8 suelos, debido a que las determinaciones hay que hacerlas por duplicado.

Se procede a partir de la experiencia anterior utilizando las Hilgards que contienen el suelo saturado. Las cajas correspondientes al mismo suelo deben ser colocadas diametralmente opuestas para balancear la máquina. La determinación de humedad se encuentra aplicando la fórmula general.

#### IV. RESULTADOS

Se han dividido en dos grupos: Suelos del Tolima y Suelos del Valle. A su vez éstos se ordenaron por su textura.

En las Tablas V y VI se presentan los datos encontrados para la estimación de los coloides, los coeficientes higroscópicos, los promedios de los datos obtenidos para el coeficiente de marchitamiento permanente, la humedad equivalente y la saturación, con el fin de facilitar al lector su apreciación y comparación. Luego aparece la representación gráfica para uno de los suelos. (Curva de pF).

## — T A B L A V —

Porcentajes de humedad a los puntos de equilibrio de ocho muestras de los suelos del Tolima

	Estimación de coloides	Coefficiente higroscópico (suelo seco al aire)	Coefficiente higroscópico (Humedad relativa 98,2%)	Coefficiente de marchitamiento	Coefficiente equivalente humedad	Coefficiente de saturación.
Olvido	11,3	2,7	3,4	3,8	17,5	52,6
Olvido	7,6	2,0	2,3	2,8	9,7	40,5
Riό	11,0	2,5	3,3	4,7	17,7	47,9
Florida	20,7	4,9	6,2	8,5	24,7	58,8
Limonos	20,9	3,9	6,2	5,9	23,5	51,2
Murraposa	20,9	4,3	6,3	11,0	24,7	61,1
Botijas	49,8	11,1	14,8	19,4	44,8	88,4
Limonos	23,2	4,8	7,0	9,0	30,2	64,8

## V. DISCUSION

De los resultados obtenidos se aprecia que las adsorciones de humedad de los suelos guardan relación con las estimaciones de los coloides de los mismos, según Robinson. Los coeficientes higroscópicos (suelo seco al aire) fueron determinados, los del Tolima en época lluviosa y los del Valle durante época seca, razón por la cual se presentan mayores variaciones en comparación con los calculados a partir de una humedad relativa de 98,2%.

Los porcentajes de marchitamiento permanente son, según Briggs y Shantz, independientes de las especies y condiciones de plantas, y las variaciones en las condiciones atmosféricas modifican su determinación (Albareda, 1). Las fórmulas para la determinación indirecta de este coeficiente a partir de la humedad equivalente y el coeficiente higroscópico, sugeridas por Briggs (Albareda, 1) no concuerdan con los datos obtenidos para los suelos estudiados en este trabajo.

Los suelos del Tolima muestran poca diferencia en porcentaje de humedad, entre el coeficiente higroscópico (98,2% humedad relativa) y el porcentaje de marchitamiento permanente, mientras que los del Valle, excepto un suelo, muestran diferencias mayores. Esto es, que los suelos del Valle presentan mayores porcentajes de coloides en las mismas clases de los suelos, probablemente como un resultado de la alta cantidad de materia orgánica en casi todos los suelos de este Departamento.

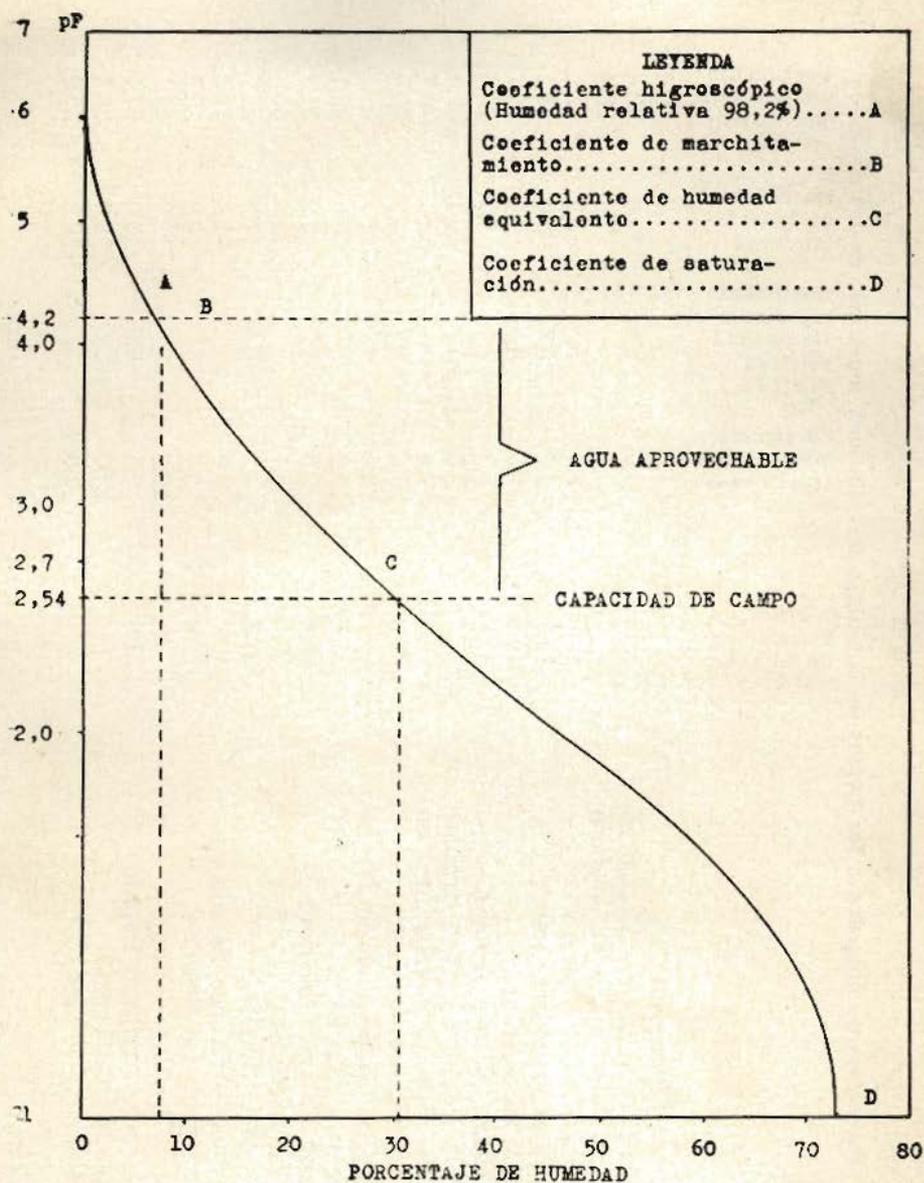


Figura 2.— Curva de pF de Nima, franco-arenoso.

T A B L A V I

Porcentaje de humedad a los puntos de equilibrio de veintiuna muestras de los suelos del Valle

	Estimación de coloides	Coefficiente higroscópico (suelo seco al aire)	Coefficiente higroscópico (Humedad relativa 98,2%)	Coefficiente de marchi- tamiento	Coefficiente de humedad equivalente	Coefficiente de saturación
Balastera Cascajoso		1,6		2,7	9,4	32,5
Cabaña Franco Arenoso Cascajoso	18,3	3,5	5,5	11,0	23,4	67,7
Estación Palmira Franco Arenoso		5,6		7,0	26,0	58,6
Hinojosa Franco Arenoso	18,6	3,4	5,6	10,9	22,6	67,6
Manuelita Franco arenoso	19,9	3,7	5,9	6,0	26,2	63,4
Nima Franco Arenoso	15,5	3,0	4,6	7,7	26,7	73,4
San Rafael Franco Arenoso		5,7		9,2	29,4	64,8
*Estación Palmira Franco Arcilloso		7,6		11,2	30,3	71,1
**Estación Palmira Franco Arcilloso		7,9		11,3	30,7	70,3
Gorgona Franco Arcilloso	32,3	6,6	9,7	14,3	32,0	75,3
Manuelita Franco Arcilloso		8,2		11,1	31,1	68,4
Candelaria Arcilloso		13,0		16,0	43,1	80,1
Estación Palmira Arcilloso	25,5	5,6	8,3	10,9	31,0	68,5
Palmira Arcilloso		8,4		10,5	31,9	69,1
San Nicolás Arcilloso	27,8	4,0	6,6	11,5	25,7	63,2
La Argelia Arcilloso Pesado		9,9		11,8	33,8	65,5
La Paz Arcilloso Pesado		10,7		13,3	33,9	69,2
Palmira Arcilloso Pesado		10,2		12,0	34,7	74,3
Providencia Arcilloso Pesado	21,9	5,5	7,6	13,0	27,1	69,3
Complejo ( 0-15 cms.)		8,50		12,0	28,1	67,5
Complejo (15-30 cms.)		7,5		10,2	25,0	64,9

\*\* 15-30 cms.

\* 0-15 cms.

En general podemos observar que los porcentajes de humedad son mayores en los suelos arcillosos pesados que en los otros. Entre los mismos suelos pesados existen diferencias.

En los suelos **Estación Palmira**, los porcentajes son mayores en el franco-arcilloso que en el franco-arenoso. Comparando las dos profundidades del mismo suelo (franco-arcilloso) notamos que la profundidad 15-30 tiene mayores porcentajes. Al contrario, el complejo estudiado en su profundidad de 0 a 15 cms., tiene mayores contenidos de humedad que sus componentes (Estación Palmira, Balastera, San Rafael) por separado, salvo en el porcentaje de humedad equivalente, en el cual **Estación Palmira** (Franco-arcilloso) es mayor.

Los porcentajes de este mismo suelo son mayores todos que los del **complejo** en su segunda profundidad (15-30 cms.)

El lector observará que en la figura el coeficiente de marchitamiento se encuentra fuera de la curva. Los autores prefieren pasar la curva por el coeficiente higroscópico (humedad relativa 98,2%) puesto que consideran este punto más exactamente una constante que el punto de marchitamiento. Este punto, como la capacidad de campo, puede no tocar la curva porque su determinación varía con el suelo y con la capacidad del mismo para suministrar agua a las plantas.

## VI. CONCLUSIONES

Repasando a través del trabajo podemos decir:

1. Son menores los coeficientes higroscópicos en los suelos livianos que en los pesados.
2. Los coloides influyen en la adsorción y retención de humedad de los suelos.
3. Los porcentajes de humedad en los puntos de equilibrio son diferentes para los varios horizontes del suelo.
4. De las curvas se puede calcular el agua aprovechable para el crecimiento y desarrollo de las plantas.
5. Se pueden comparar convenientemente los estados de humedad de los suelos con los valores de pF o potencia capilar.

## VII. RESUMEN

Se estudiaron veintisiete tipos de suelos pertenecientes a veintidos series y un complejo de los Departamentos del Tolima y Valle del Cauca, para determinarles los coeficientes higroscópicos, los porcentajes de marchitamiento permanente y los de humedad equiva-

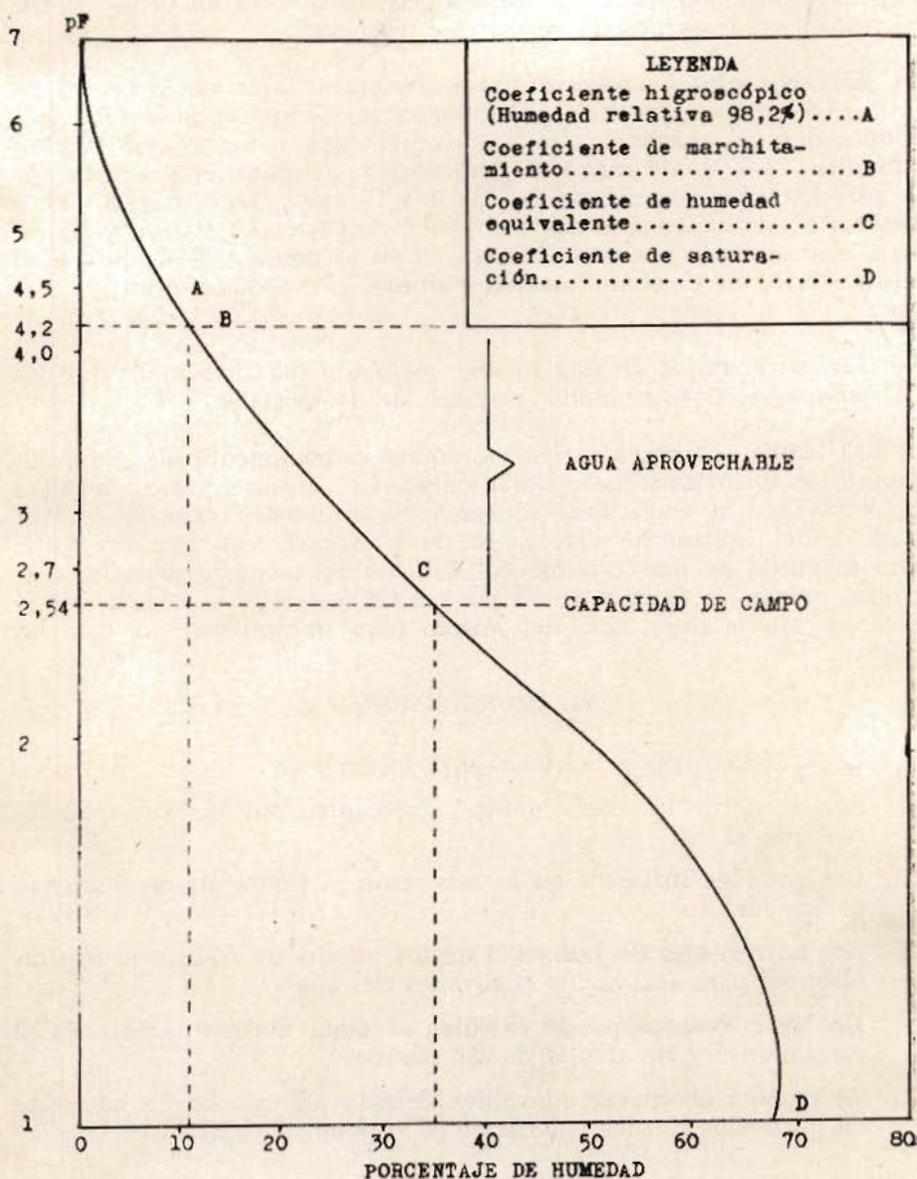


Figura 3.— Curva de pF de Estación Palmira, arcilloso.

lente y saturación. Para cada suelo se puede trazar la curva correspondiente que representa sus estados de humedad. También fueron estimados los coloides de varios suelos, según el método de W. O. Robinson, para tener una idea de su relación con la adsorción de humedad de los suelos y ver más claramente la importancia que tiene en los mismos.

#### SUMMARY

The authors studied twenty seven types of soils belonging to twenty two series and one complex of the Departamentos of Tolima and Valle del Cauca in order to determine their hygroscopic coefficients, permanent wilting points, moisture equivalents and saturations. For each soil the corresponding curve can be drawn which represents its states of moisture. Also the colloid contents of several soils were estimated according to the method of W.O. Robinson in order to have an idea of their relations with the moisture adsorption of the soils and to see more clearly the importance that this has in the soil moisture relations of those soils.

#### VIII. BIBLIOGRAFIA

1. **Albareda Herrera, J. J.**— El suelo. p. 398, 410, 412. Madrid, General Mala, 1940.
2. **Baver, L. D.**— Soil Physics. p. 205. New York, John Wiley, 1940.
3. **Cole, T. S.**— Effect of incorporated organic matter on the moisture equivalent and wilting percentage values of soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 3: 43. 1939.
4. **Colman, E. A.**— A laboratory procedure for determining the field capacity of soil. Soil Sci. 63: 281-282. 1947.
5. **Furr, J. R. and Reeve, J. O.**— Range of soil-moisture percentages through which plant undergo permanent wilting in some soil from semiarid irrigated áreas. Jour. Agr. Res. 71: 156-157. 168-169. 1945.
6. **Hogentogler, C. A.**— Engineering properties of soil. New York, McGraw-Hill, 1936.
7. **Irusta, L. F. y Molina, J. M.**— Reconocimiento de los suelos de los Ingenios Pajonales (Tolima) y Manuelita (Valle) y unificación de los trabajos de Sorensen, Ramírez y Naundorf. (Manuscrito no publicado. Facultad Nal. de Agronomía, Palmira). 1953.

8. **Kramer, J. P.**— Plant and soil water relationships. New York, McGraw-Hill, 1949.
9. **Lyon, T. L., Buckman, H. O. and Brady, N. C.** —The nature and properties of soils. 5a. ed. p. 46-47, 160-187. New York, Macmillan, 1952.
10. **Lugo López, M. A.**— Moisture characteristics of some soils of Puerto Rico where sugar cane is grown. *The Sugar Jour.* 15 (6): 29. 1952.
11. **Piper C. S.**— Soil and plant analysis. p. 85-96. New York, Interscience Publishers, 1950.
12. **Puri, A. N.**— Soils their physics and chemistry. p. 347-353, 393. New York, Reinhold, 1949.
13. **Richards, L. A. and Weaver, L. R.**— Moisture retention by some irrigated soils as related to soil-moisture tension. *Jour. Agr. Res.* 69: 233-234. 1944.
14. **Richards, L. A.**— Methods of measuring soil moisture tension. *Soil Sci.* 68: 95-107. 1949.
15. **Richards, S. J.**— Soil moisture content calculations from capillary tension records. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 3: 57-58. 1939.
16. **Robinson, G. W.**— Soils. p. 277. London, Thomas Murby, 1951.
17. **Russell, M. B. and Richards, L. A.**— The determination of soil moisture energy relations by centrifugation. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 3: 65, 68. 1939.
18. **Scofield, C. S.**— The measurement of soil water. *Jour. Agr. Res.* 71: 376. 1945.
19. **Thorne, D. W. and Peterson, H. B.**— Irrigated soils. p. 31,32 Philadelphia, Blakiston Co., 1949.
20. **Veihmeyer, F. J. and Hendrickson, A. H.**— Methods of measuring field capacity and permanent wilting percentage of soil. *Soil Sci.* 68: 75-76, 89. 1949.
21. **Wright, C. H.**— Soil analysis. 2a. ed. p. 16, 18. New York, D. Van Nostrand, 1939.