

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**" EL AGUA DEL SUELO "**

**Seminario**  
**( Opción III )**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA**  
**PRESENTA**

**Fernando Galvares Gutiérrez**

040.631  
FA 1  
1987

T  
S304  
G3  
C.1

MARIN, N. L.

ENERO DE 1987

040.631

FA 1

1987

T

S594

G3

C.1



1080062462

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**



**" EL AGUA DEL SUELO "**

**Seminario**  
**( Opción III )**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE**  
**INGENIERO AGRONOMO FITOTECNISTA**  
**P R E S E N T A**

**Fernando Galnares Gutiérrez**

**MARIN, N. L.**

**ENERO DE 1987**

006969 *ExA*

T  
S594  
93



Biblioteca Central  
Magna Solidaridad

F. Tesis



BUREAU RANDOL FIES  
UANL  
FONDO  
TESIS LICENCIATURA

040.631

FAI

1987

C.5

## DEDICATORIA

A mis Padres:

Sr. Tomás Galnares Coronado

Sra. Ramona Gutiérrez de Galnares

Con cariño y respeto, por obtener de ellos mi primera educación, apoyo moral y económico que a través de sacrificios y privaciones desinteresados, culminaron en la realización de mi carrera profesional.

A mis Hermanos:

Ana María, Yolanda, Elías, Paulita, Jesús, Norma, Enedelia, Irma, Tomás, Liliana.

Por su gran estímulo hacia mi, para lograr esta meta de mi vida, y rogando a Dios que siempre perdure esa unidad familiar.

A mis Compañeros y Amigos de Escuela:

Por compartir tristezas y bellos momentos de alegría que siempre recordaré.

A mi lugar de origen:

Ej. Liberación del Campesino, Río Bravo, Tamps.

Por pasar en él los momentos más felices de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., porque en ella adquirí una formación como profesionista.

Al Ing. Benjamín Salvador Ibarra Ruiz.

Por su valiosa asesoría en el desarrollo del presente trabajo.

A mis Maestros:

Por su dedicada labor en la formación de profesionistas para un México mejor, por el apoyo y estímulo que me brindaron para superarme como estudiante y por sus sabios consejos que como amigos recibí.

Y sobre todo, gracias a ti Señor, por la dicha de vivir y por haberme permitido dar este paso trascendental de mi existencia.

# I N D I C E

	Página
INTRODUCCION. . . . .	1
MEDICION DEL AGUA DEL SUELO . . . . .	3
Expresiones del contenido de humedad del suelo . . . . .	3
En base al peso del suelo seco . . . . .	3
En base a volumen . . . . .	4
En base a lámina . . . . .	5
Métodos para determinar el contenido de humedad del suelo . . . . .	5
Gravimétrico . . . . .	5
Tensión de Humedad (Tensiómetro) . . . . .	7
Bloques de Resistencia Eléctrica . . . . .	8
Radioactivos. . . . .	10
Dispensor de neutrones. . . . .	10
Atenuación con rayos gamma . . . . .	11
CONSTANTES HIDRICAS. . . . .	14
Capacidad de Campo (CC) . . . . .	14
Factores que afectan capacidad de campo . . . . .	15
Métodos para determinar capacidad de campo . . . . .	15
Punto de Marchitez Permanente (PMP) . . . . .	18
Factores que afectan el punto de marchitez permanente. . . . .	20
Métodos para determinar el punto de marchitez permanente. . . . .	21
Densidad aparente (DA). . . . .	23
Factores que afectan la densidad aparente . . . . .	24
Métodos para determinar la densidad aparente . . . . .	24

	Página
CONCEPTOS. . . . .	26
Humedad Disponible . . . . .	26
Lámina de Agua Disponible. . . . .	26
Lámina de Agua Consumida. . . . .	28
Porcentaje de Abatimiento.. . . . .	29
POTENCIAL DEL AGUA DEL SUELO . . . . .	30
Potencial Total . . . . .	32
Componentes del Potencial Total . . . . .	32
Potencial gravitacional . . . . .	32
Potencial de presión . . . . .	33
Potencial matricial . . . . .	33
Potencial osmótico . . . . .	33
Factores que afectan el potencial del agua del suelo . .	34
Métodos para determinar el potencial del agua del suelo..	36
TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO (THS) . . . . .	40
ESFUERZO DE HUMEDAD DEL SUELO (EHS). . . . .	40
CURVAS CARACTERISTICAS DE LA HUMEDAD DEL SUELO . . . . .	41
Métodos para determinar las curvas de humedad del suelo..	43
BIBLIOGRAFIA. . . . .	47

## INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro	Página
1 Comparación de los diferentes métodos para determinar el contenido de humedad en el suelo . . . . .	13
2 Métodos para medir las relaciones de energía del agua del suelo. . . . .	39
<b>Figura</b>	
1 Tensiómetro comercial, sus partes y la forma de operar en el campo (Fuente: Ingeniería de Suelos, 1978; Kramer, 1974). . . . .	8
2 Vista superficial y de perfil y la forma de operar en el campo de un bloque de yeso de paris. (Fuente: Ingeniería de Suelos, 1978; Kramer, 1974). . . . .	9
3 Diagrama de una instalación en el campo de un dispersor de neutrones, e ilustración sobre el proceso de moderación de los neutrones por la humedad del suelo (Fuente: Buckman, 1977; Kramer, 1974). . . . .	11
4 Olla de presión y procedimiento para la determinación de la Capacidad de Campo (Fuente: Aguilera, 1980).. .	17
5 Nomograma para determinar la capacidad de campo en función de los porcentajes de arcilla, limo y arena. (Fuente: SRH, Memorandum Técnico No. 195, 1963) . . .	19
6 Componentes de una membrana de presión (Fuente: Aguilera, 1980). . . . .	22
7 Rango de humedad aprovechable para diferentes tipos de textura (Fuente: Millar, 1978) . . . . .	27

Figura		Página
8	Ilustración del potencial gravitacional y de presión (Fuente: Vega, 1976) . . . . .	37
9	Curva característica de Tensión de Humedad del Suelo ó Liberación de Humedad y representación gráfica de la Humedad Disponible y Porcentaje de Abatimiento pa- ra un suelo de textura arcillo arenosa. . . . .	42
10	Gráficas para la obtención de los parámetros k, n y c de la ecuación de la curva de tensión de humedad (Fuente: Aguilera, 1980). . . . .	46

## INTRODUCCION

A medida que se ha desarrollado el conocimiento de los suelos, se ha definido a este cuerpo de diferentes maneras; sin embargo, a la fecha una definición aceptable dice que el suelo es un material mineral no consolidado sobre la superficie inmediata a la corteza terrestre, que sirve como medio natural para el desarrollo de las plantas (Ortíz, 1980).

Al suelo en su sentido más amplio, se le ha considerado como una mezcla de material mineral, materia orgánica, agua y aire. El volumen ocupado por cada uno de estos componentes en un suelo superficial de textura franca y en condiciones ideales para el desarrollo de las plantas, es aproximadamente como sigue: Material mineral 45%, materia orgánica 5%, agua 25% y aire 25% (Suárez, 1965 y Ortíz, 1980).

Se puede notar que alrededor de la mitad es espacio poroso (agua y aire). El volumen de agua y aire componen una relación directamente proporcional uno con el otro. La entrada de agua al suelo excluye al aire y ésta al ser removida por drenaje, por evaporación o por las plantas en desarrollo, el espacio poroso vuelve a ocuparse por aire.

El agua es absolutamente esencial para el desarrollo de las plantas, por otra parte, los fenómenos de desintegración y descomposición química no se manifiestan sino en presencia de agua líquida. La importancia del agua tanto en lo que se refiere a su papel como agente formador del suelo, como en la productividad del mismo, resalta de inmediato (Ortiz, 1980).

El conocimiento de las relaciones entre el agua y el suelo, es de gran utilidad para todos los que tienen ocasión de mejorar las prácticas de riego, incluyendo a los agentes que desean utilizar el agua disponible de la mejor forma posible.

Entre las relaciones del suelo y el agua que tienen una especial importancia en las zonas de regadío, se incluyen las capacidades de los suelos bien drenados, que retienen el agua para su posterior utilización por las plantas y el flujo o movimiento del agua en los suelos (Israel, 1973).

El suelo debido a su carácter granular y coloidal, es capaz de retener la humedad aportada por las lluvias y el riego, esta propiedad es de mayor importancia, tanto para la comprobación del proceso edafogénico como para la vida de las plantas.

El estudio del comportamiento de la humedad de los suelos debe considerarse por lo tanto, como el grupo más importante de sus problemas físicos. Estos problemas corresponden a los siguientes temas:

- 1) Mecanismos de retención de agua por los suelos
- 2) Movimiento del agua en los suelos (Wooding, 1967).

El presente escrito, es una recopilación de información sobre el primero de estos dos problemas, con el objetivo de proporcionar material didáctico para el que se interesa en la relación que hay entre el agua y el suelo con respecto a la retención de agua por el suelo, sin por ello quitarle importancia al proceso físico de movimiento del agua en los suelos.

## EL AGUA DEL SUELO

### Medición del Agua del Suelo

Hay dos objetivos principales en la medición del agua del suelo. El primero es determinar el contenido de humedad de un suelo (cantidad de agua contenida en una unidad de masa o volumen del suelo). El segundo objetivo, es determinar la magnitud del potencial del agua del suelo.

### Expresiones del contenido de humedad en el suelo

- a) En base a peso del suelo seco. El método más simple y de uso más rápido para medir la cantidad de agua que contiene un suelo, consiste en tomar muestras de suelo con el contenido de humedad en el momento, las muestras se pesan húmedas, luego se secan en un horno a una temperatura de 105°C a 110°C, hasta que alcancen peso constante y se vuelven a pesar (SRH, 1963; Forsythe, 1975; Vega, 1976 y Gavande, 1979).

De acuerdo a Israelsen (1973) y Vega (1976):

$$P_w = \frac{PSH - PSS}{PSS} \times 100$$

Donde:

$P_w$  = es el porcentaje de humedad en base a peso

$PSH$  = es el peso en húmedo (g)

$PSS$  = es el peso en seco (g)

Forsythe (1975), usa el mismo procedimiento con otra terminología y lo llaman porcentaje de humedad gravimétrica.

$$H(\%) = \frac{M_{ag}}{M_s} \times 100$$

Donde:

$H(\%)$  = es el porcentaje de humedad gravimétrica

$M_{ag}$  = es la masa del agua ( $M_{suelo} - M_{suelo \text{ secado al horno}}$ ) (g)

$M_s$  = es la masa de los sólidos (g)

De acuerdo a Gavande (1979), el contenido de humedad se calcula por medio de la ecuación:

$$(W_w - W_o) / W_o = (W_w / W_o) - 1 = \theta_w; \quad P_w = 100 \theta_w$$

Donde:

$\theta_w$  = contenido de humedad con base en el peso seco

$W_w$  = peso del suelo húmedo (g)

$W_o$  = peso del suelo seco (g)

$P_w$  = porcentaje de humedad con base en el peso seco del suelo

- b) En base a volúmen. Esta forma de expresar el contenido de humedad del suelo, es útil para propósitos de riego (SRH, 1963; Vega, 1976 y Gavande, 1979).

De acuerdo a Israelsen (1973) y Vega (1976):

$$P_v = P_w \times D_a$$

Donde:

$P_v$  = porcentaje de humedad en base a volumen

$P_w$  = porcentaje de humedad en base a peso

$D_a$  = densidad aparente ( $g/cm^3$ )

Forsythe (1975), usa otra terminología pero agrega como denominador de la ecuación, la densidad del agua (g/ml).

- c) En base a lámina. La humedad volumétrica se puede considerar también como la lámina de agua contenida en una unidad de profundidad de suelo (SRH, 1963 y Forsythe, 1975).

Si a un cubo de suelo de 1 cm de arista, se le extrajera toda la humedad que contiene y se le virtiera en un recipiente de forma identica a la del cubo del suelo, el agua alcanzará una altura llamada lámina de agua, L (Vega, 1976).

$$L = \frac{P_v \cdot P}{100}$$

Donde:

- L = es la lámina de agua que corresponde a un valor de  $P_v$  (cm)  
 $P_v$  = es el contenido de humedad en base a volumen (%)  
 P = es la profundidad del suelo (cm) para el cual  $P_v$  es válido

#### Métodos para determinar el contenido de humedad del suelo

Con el afán de conocer la cantidad de humedad presente en el suelo, sobre todo en la explotación de las áreas de riego, se han utilizado distintos métodos, de los cuales a continuación se explican los más importa<sup>n</sup>tes.

- a) Gravimétrico. Este método se ha explicado en el punto anterior. Con siste en una serie de pesadas del suelo antes y después de su secado al horno (Bukman, 1977).

Trisoldi (1967), lo menciona como el método de la pesada. Se denomina gravimétrico, debido a que en este método hay que realizar varias pesadas (Vega, 1976).

Dueñas (1981) menciona como principal ventaja del método su exactitud, mientras que sus desventajas consisten en el trabajo necesario y el tiempo prolongado para la obtención de los datos.

Otros métodos poco comunes mencionados por Dueñas (1981), son los siguientes:

Método del alcohol. En este método se efectúan los mismos pasos, pero el suelo es secado a través de la propiedad inflamable del alcohol, que a la vez evapora la humedad del suelo.

Método del carburo. Se basa en el registro de la presión que se produce al combinarse el agua de la muestra del suelo con un volumen constante de  $\text{CaCl}_2$  y desprenderse acetileno.

Ambos métodos son limitados en cuanto a exactitud.

Kramer (1974), menciona este método (gravimétrico) como una medición directa del contenido hídrico del suelo, en tanto que el uso de tensiómetros y bloques de resistencia miden realmente el potencial matricial y de la misma manera lo considera Vega (1976).

Los tres métodos que a continuación se mencionan son indirectos, es decir, la propiedad que se desea medir, está relacionada con el contenido hídrico por algún tipo de procedimiento de calibración, por lo cual es necesario establecer curvas de calibración para el método a utilizar y bajo condiciones específicas de suelo, para lo cual se emplea el método gravimétrico.

b) Tensión de Humedad (Tensiómetros). La humedad que pueden retener los sólidos depende de dos fuerzas fundamentales: La atracción que puede hacer del agua la partícula sólida y la atracción que ocurre entre una y otra moléculas de agua. La fuerza de atracción de las partículas del suelo disminuye a medida que aumenta la película de agua a su alrededor (Dueñas, 1981 y Miller, 1978).

Una forma de conocer la disponibilidad de agua para un cultivo, es midiendo la tensión a que el agua esté retenida por el suelo, lo cual indica la posibilidad de absorción. Con este fin se utilizan los tensiómetros (Bukman, 1977 y Dueñas, 1981).

Las medidas directas en campo del potencial mátrico o capilar, pueden efectuarse únicamente con tensiómetros y pueden emplearse para calcular el contenido hídrico del suelo.

Tensiómetro. Consiste en una capa porosa llena de agua, enterrada en el suelo y conectada a un manómetro o indicador de vacío. El agua de la copa alcanza equilibrio de presión con el suelo y registra la succión matricial ( $P_w$ ).

En el caso del tensiómetro, la continuidad del agua del suelo y el agua de los poros de la capsula, es fundamental cuando dicha continuidad deja de existir el aparato ya no es funcional, esto ocurre a un potencial mátrico igual a 0.8 atm, (Vega, 1976; Ingeniería de Suelos, 1978 y Gavande, 1979).

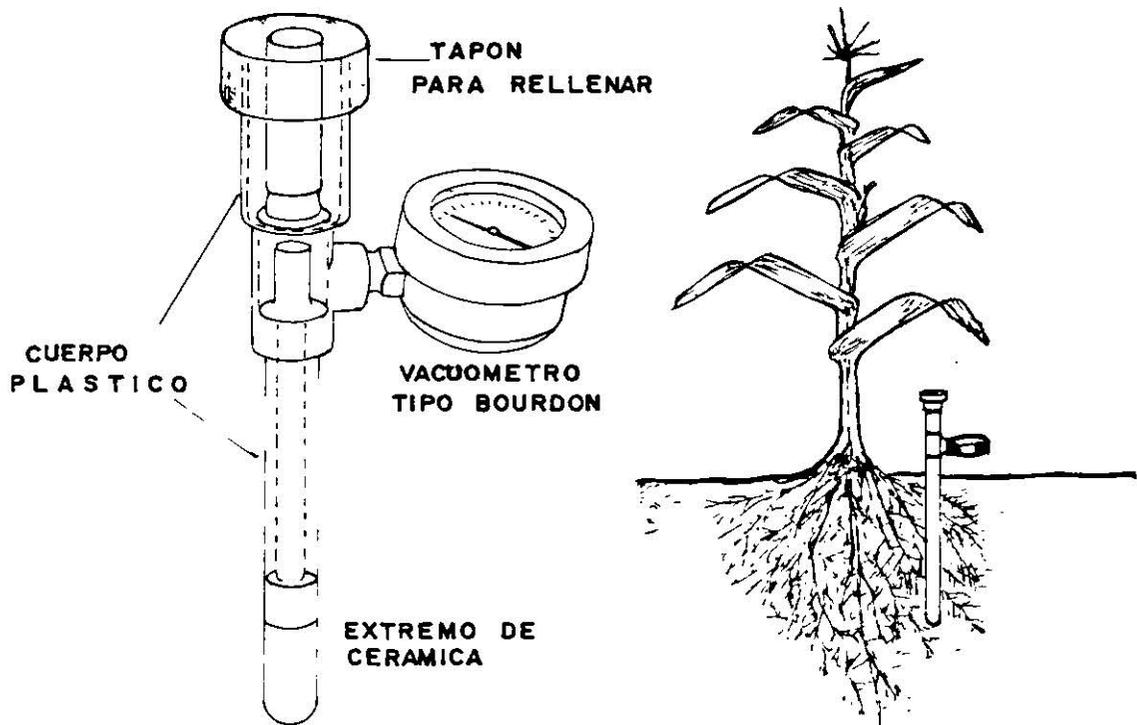


FIGURA 1. Tensiómetro comercial, sus partes y la forma de operar en el campo.

c) Bloques de resistencia eléctrica. El bloque de resistencia eléctrica, es otro aparato para medir el potencial matricial del suelo, lo cual se relaciona con el contenido de humedad del suelo (Kramer, 1974; Vega, 1976 y Gavande, 1979).

El principio de este método, es medir la resistencia al paso de la corriente por un bloque poroso y no conductor, en el que se encuen-

tran dos mallas metálicas aisladas de acero inoxidable, a medida que se humedece el bloque, entran en contacto y se disminuye la resistencia al paso de la corriente (Vega, 1976; Bukman, 1977 e Ingeniería de Suelos, 1978) (Figura 2 ).

Dueñas (1981) lo considera como un método rápido; sin embargo, menciona las siguientes desventajas:

- Dificil calibración
- No trabaja bien en suelos de textura gruesa

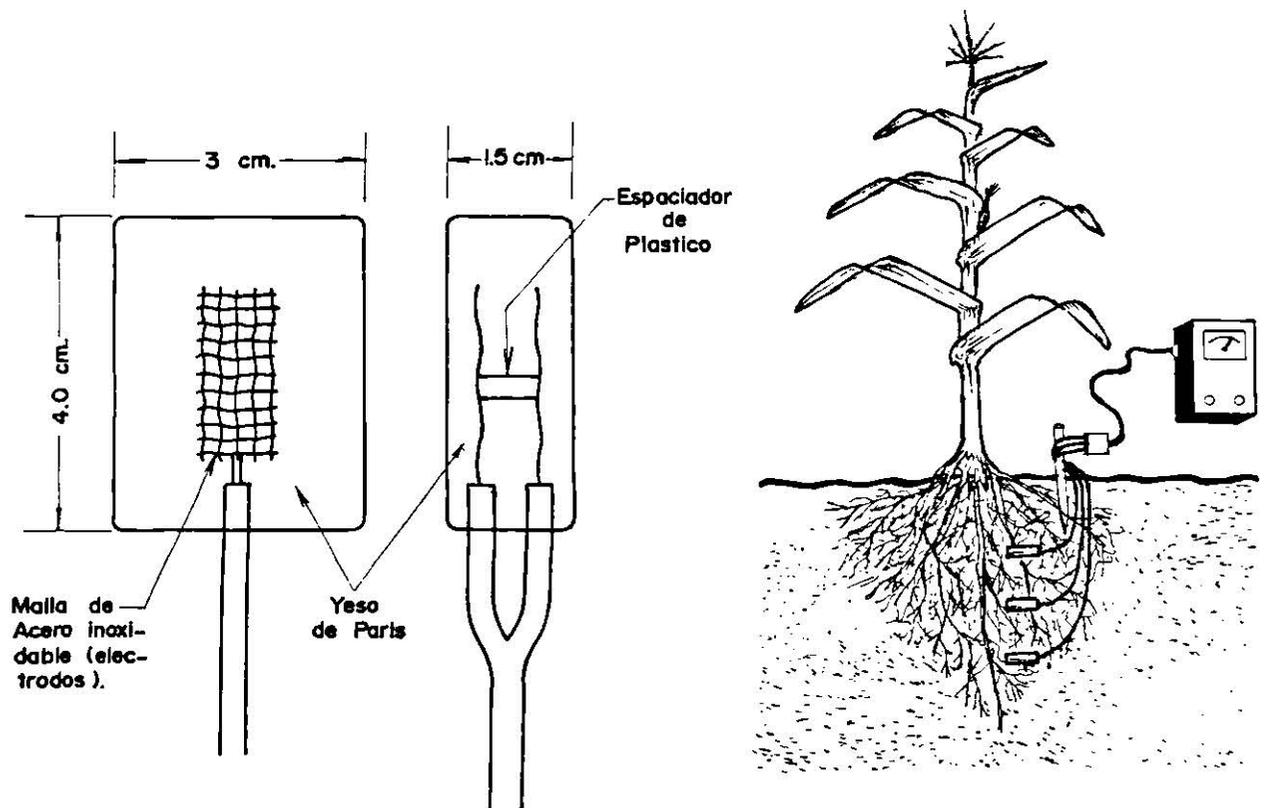


FIGURA 2. Vista superficial, de perfil y la forma de operar en el campo de un bloque de yeso de paris.

#### d) Radioactivos

d.1. Método del dispersor de neutrones. Como el agua modera los neutrones rápidos y el suelo no, se ha propuesto esta técnica en la que se emplea una fuente de neutrones rápidos para medir el contenido de humedad en un suelo sin alterar (Gavande, 1979).

Este método consiste en una sonda con fuente de neutrones de alta energía y un contador que detecte el flujo de los neutrones lentos (termales) se baja dentro de un tubo de aluminio o acero colocado en el suelo (Gavande, 1979).

Al emitirse los neutrones rápidos al suelo, son frenados por los núcleos de hidrógeno del agua contenida en el suelo alrededor de la fuente de emisión y captados parte de ellos por el calculador registrador (Bukman, 1977 y Dueñas, 1981) (Figura 3)

De acuerdo a Kramer (1974), la única fuente significativa de hidrógeno en los suelos es el agua de los mismos.

Gavande (1979), menciona las siguientes ventajas del método: Exactitud, rapidez, menos cantidad de muestras, equilibrio instantáneo, se requiere poco espacio para colocar el aparato y puede quedarse permanentemente. Menciona como posibles desventajas la alta inversión inicial, el mantenimiento y las precauciones necesarias para manejar materiales radioactivos.

Este método es considerado por Israelsen (1973) y Winter (1977) como un método especialmente adecuado para observar los cambios de humedad del suelo que se producen con el tiempo en el perfil del suelo.

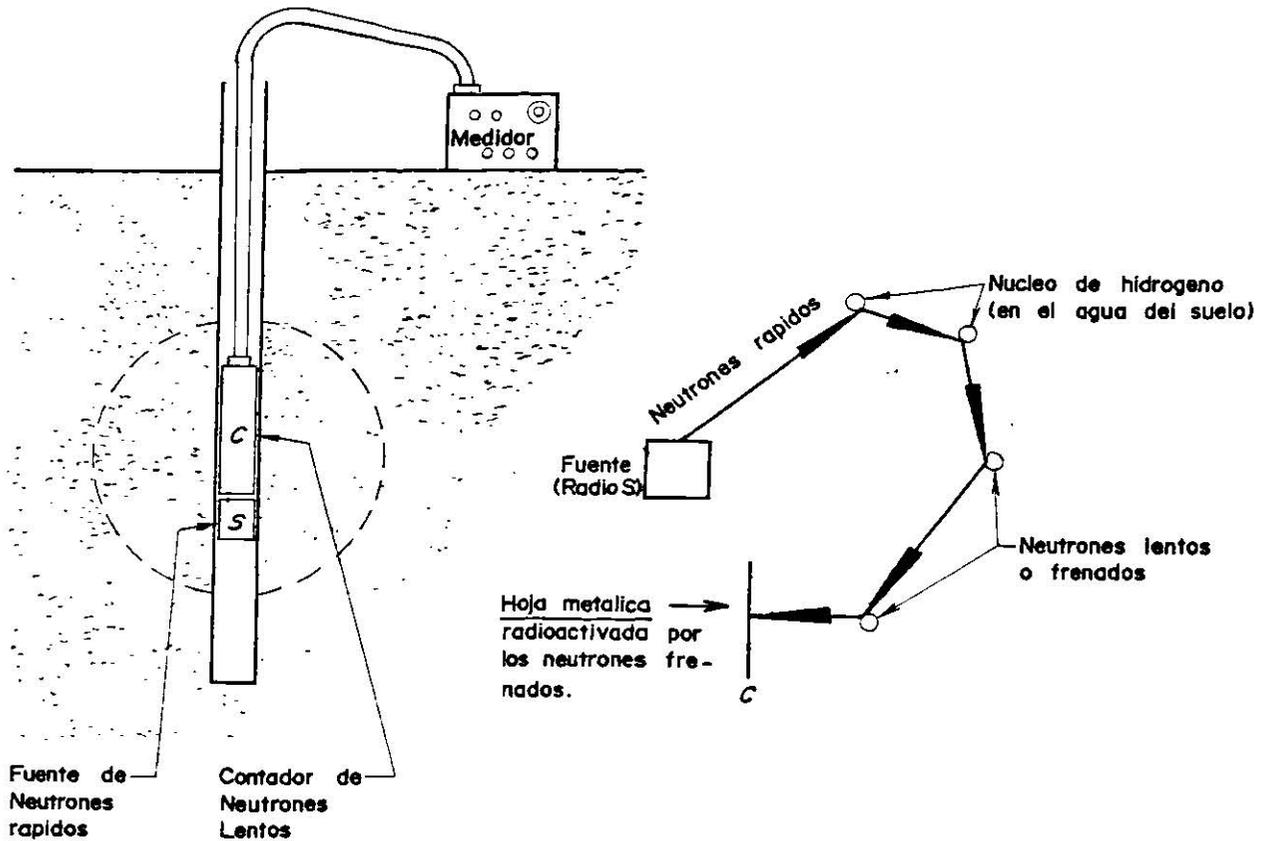


FIGURA 3. Diagrama de una instalación en el campo de un dispersor de Neutrones e ilustración sobre el proceso de moderación de los Neutrones por la humedad del suelo.

d.2. Atenuación con rayos gama. Este método es aplicable en Laboratorios especiales, mediante la atenuación con un haz delgado de rayos gamma. El método necesita una fuente de radiación gamma tal como el Cesio, un detector tal como un tubo Geiger o sonda de centello y un medidor.

La cantidad de radiación que atravieza una columna de suelo depende de la densidad de éste que varía muchísimo al cambiar su contenido hídrico. Como la atenuación con los rayos gamma depende de la densidad total del material que atraviesan, el método solo resulta exacto para indicar el agua del suelo cuando se conoce la densidad aparente del suelo y ésta permanece constante (Kramer, 1974 y Gavande, 1979).

El Cuadro 1 es un resumen de los métodos para determinar el contenido de humedad del suelo, así como sus principales ventajas y desventajas.

CUADRO 1. Comparación de los diferentes métodos para determinar el contenido de humedad del suelo.

Recomendado para medir	Favorable	Condiciones de operación	Limitante	Principales ventajas y desventajas
<p>1. <u>Método Gravimétrico</u>                      Agua contenida en las muestras.</p>	<p>1. Muestreo infrecuente                      2. Textura del suelo: uniforme y mediano</p>	<p>1. Suelos rocosos o de grava                      2. Muestreo frecuente</p>	<p>1. Es un método básico para medir el contenido de agua.                      2. Es muy largo y requiere perforaciones en el suelo para tener una muestra segura.</p>	
<p>2. <u>Método de Atenuación con Rayos Gamma</u>                      Contenido de agua en el laboratorio</p>	<p>1. Se requiere medición no destructiva del agua en columnas de suelo</p>	<p>1. Se requieren columnas de suelo                      2. Mediciones solo en laboratorio                      3. Variaciones de densidad influyen fuertemente en los resultados.</p>	<p>1. Método no destructivo                      2. Limitado a columnas de suelo                      3. La radiación es peligrosa</p>	
<p>3. <u>Método de Dispersión de Neutrones</u>                      Contenido de agua en el campo</p>	<p>1. Muestreo frecuente del mismo lugar                      2. Medición no destructiva                      3. Textura de suelo uniforme y mediano                      4. El contenido de agua del perfil del suelo es deseable.</p>	<p>1. Suelo superficial                      2. Suelos rocosos o de grava                      3. Suelos orgánicos                      4. Suelos laminados</p>	<p>1. Puede repetirse varias determinaciones en el mismo lugar.                      2. Es necesario calibrarlo en el campo.                      3. Se requiere equipo especial para determinar el agua superficial                      4. No se puede usar para determinar el contenido de agua en un punto a una profundidad dada, sino en rango.</p>	
<p>4. <u>Tensiómetros</u>                      Contenido de agua en el campo</p>	<p>1. Suelos de textura ligera                      2. Contenido de agua al momento del riego</p>	<p>1. Suelo de textura pesada                      2. Rango de operación limitado</p>	<p>1. Opera a tensiones menores a 8 atm.                      2. Requiere previa calibración                      3. Necesidad de recogerlos cuando ha entrado aire.</p>	
<p>5. <u>Bloques de Resistencia Eléctrica</u>                      Contenido de agua en el suelo.</p>	<p>1. Muestreo frecuente                      2. Textura de suelo pesada</p>	<p>1. No trabaja bien en suelos de textura gruesa</p>	<p>1. Método rápido                      2. Difícil calibración                      3. Cuando hay cambios de humedad el equilibrio demora.</p>	

## CONSTANTES HIDRICAS

### Capacidad de Campo (CC)

Se define como la cantidad de agua que un suelo retiene contra la gravedad cuando se le deja drenar libremente (Israelsen, 1973; Vega, 1976 y Gavande, 1979).

La tensión de humedad de un suelo que ha alcanzado la capacidad de campo, suele estar comprendida entre  $1/10$  y  $1/3$  de atmosfera. En un suelo bien drenado por lo general, se llega a este punto aproximadamente 48 horas después del riego.

Debido al sistema dinámico del agua en el suelo, la capacidad de campo no es un valor único del suelo. No puede ser determinada con precisión debido a que no existe en el tiempo discontinuidad en la curva de humedad sin embargo, este concepto es de gran utilidad para la estimación de la cantidad de agua contenida en el suelo, de que puede disponer la planta (Israelsen, 1973 y Gavande, 1979).

Aunque la capacidad de campo es un parámetro que se puede medir con frecuencia en forma reproducible, no se puede definir satisfactoriamente en términos físicos y sin embargo, tiene una aplicación conveniente en el riego de terrenos (Winter, 1977).

El movimiento gravitacional nunca cesa aunque ocurre lentamente, pero para propósitos de establecer un límite máximo de retención se dice que el movimiento cesa y por lo tanto, la precisión está sujeta a la decisión arbitraria sobre el tiempo, al cual el movimiento gravitacional ce

sa (Vega, 1976).

a) Factores que afectan la Capacidad de Campo (Garza, 1980).

1). Textura. Influye directamente en la cantidad de espacios porosos, en los movimientos de agua, en la circulación del aire y en la velocidad de las transformaciones químicas.

En cuanto a tamaño de partícula, actúa inversamente. A mayor tamaño de partícula, será menor el valor de C.C.

2). Estructura. La agregación aparente o disposición de los suelos influye en la aereación, porosidad y densidad aparente.

3). Materia orgánica. Ejerce una fuerza cohesionante de las partículas del suelo formando unos débiles agregados en los que aumenta la cantidad de poros y por esto, el suelo retiene mayor cantidad de agua, o sea, su capacidad de campo.

4). Compactación. A mayor compactación del suelo, hace que aumente la densidad aparente al suelo y por lo tanto, va disminuyendo el porcentaje de espacios porosos.

b). Métodos para determinar la capacidad de campo (Aguilera, 1980; Garza, 1980; Guzmán, 1981 y Rodríguez, 1983).

a). Método directo de campo. Se puede determinar después de que el terreno ha quedado saturado ya sea por lluvia o aplicando un exceso de agua en un núcleo de prueba (1 m x 1m).

Al terminar de drenar, se deben tomar contenidos de humedad del núcleo, los cuales se registran a través de un sistema de coordenadas. Cuando la curva permanezca constante, se tendrá el valor del contenido de humedad o capacidad de campo.

Las determinaciones se pueden hacer cada 12 o 24 horas y la humedad se puede medir por distintos métodos como el gravimétrico, por tensiómetros o por dispersar de neutrones.

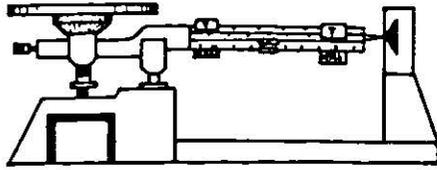
- 2). Método de la olla de presión. Consiste en saturar muestras de suelo en anillos de hule, los cuales se dejan en reposo por un tiempo aproximado de 12 horas. Posteriormente, las muestras se pasan a la olla de presión, sometiéndolas a una presión de 0.3 atms por 24 a 48 horas, dependiendo del tipo de suelo, hasta que cese el agua excedente de la olla (Figura 4 ).

Se determina el contenido de humedad de las muestras por el método gravimétrico, el cual será el valor de capacidad de campo.

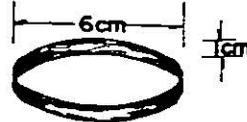
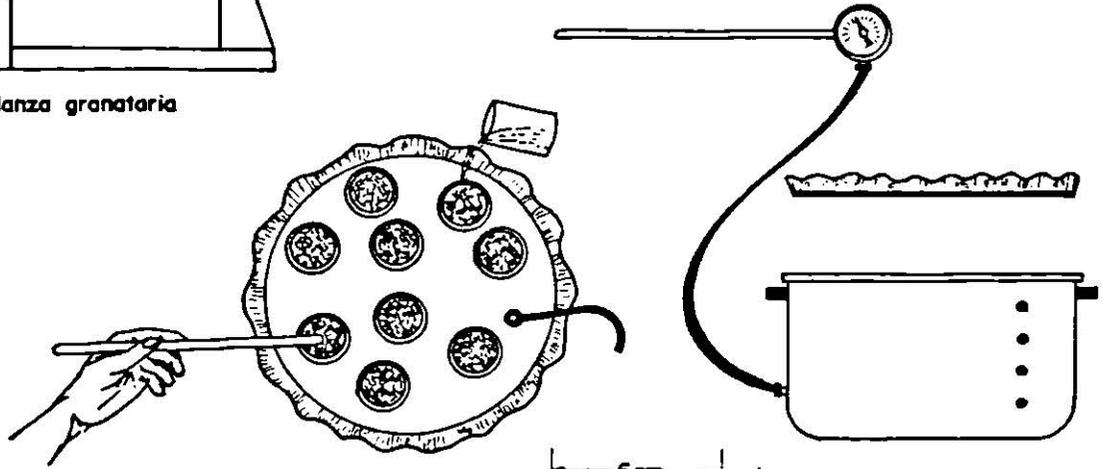
- 3). Método de la columna de suelo. Consiste en saturar una columna de aproximadamente 25 cm o 200 ó 300 g de suelo. Esto se hace en un tubo de cristal de 25 cm de diámetro por 30 cm de longitud. Una vez drenada el agua libremente, se extrae la columna de suelo, se divide en tres partes iguales y se determina el contenido de humedad de la parte central a través del método gravimétrico, cuyo valor será el de su capacidad de campo.

- 4). Método de humedad equivalente. Una muestra de suelo previamente saturada se somete a una fuerza centrífuga equivalente a mil veces la fuerza de la gravedad durante 30 minutos, acelerando cinco minutos y parando de golpe durante un minuto. El contenido de humedad de esa muestra se considera igual a la capacidad de campo del suelo (Briggs y McLandre, 1907, citados por Garza, 1980 y Rodríguez, 1983).

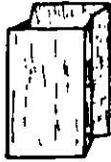
Figura 4. OLLA DE PRESION Y PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CAMPO.



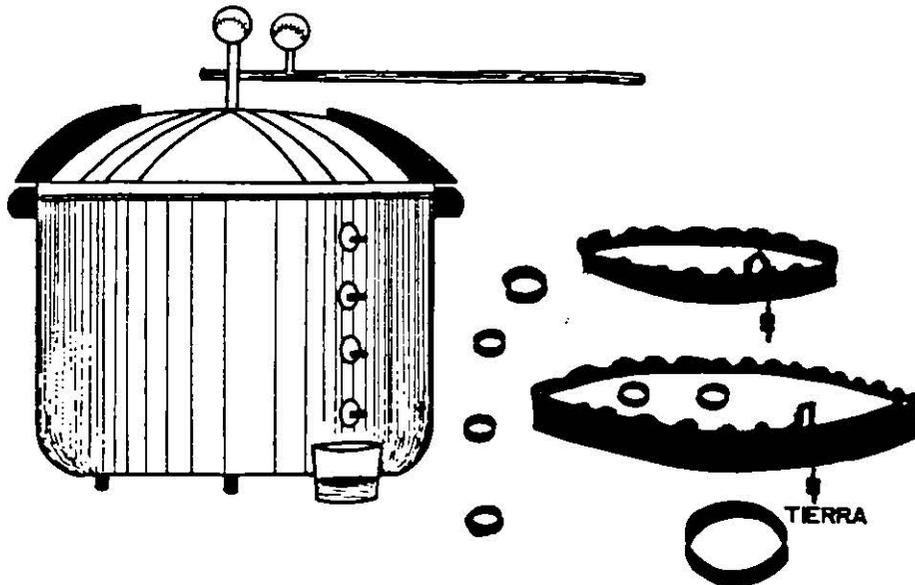
Balanza granataria



Anillo de hule



Muestra de suelo



La desventaja de este método, es que los aparatos son bastante costosos y no sirven cuando se tienen altos contenidos de materia orgánica (Aguilera, 1980).

- 5). Método de la textura a través de Nomogramas ya establecidos (Figura 5 ) a partir de la ecuación:

$$CC = 0.23 [0.53 (AR) + 0.25 (L) + 0.023 (A)]^{1.45}$$

Donde:

CC = Capacidad de Campo

AR = Porcentaje de arcilla

L = Porcentaje de limo

A = Porcentaje de arena

Este método se puede utilizar para investigaciones, pero puede ocuparse con fines de planeación de grandes áreas (Aguilera, 1980; Palacios, 1980, SARH, 1980, citados por Guzmán, 1981).

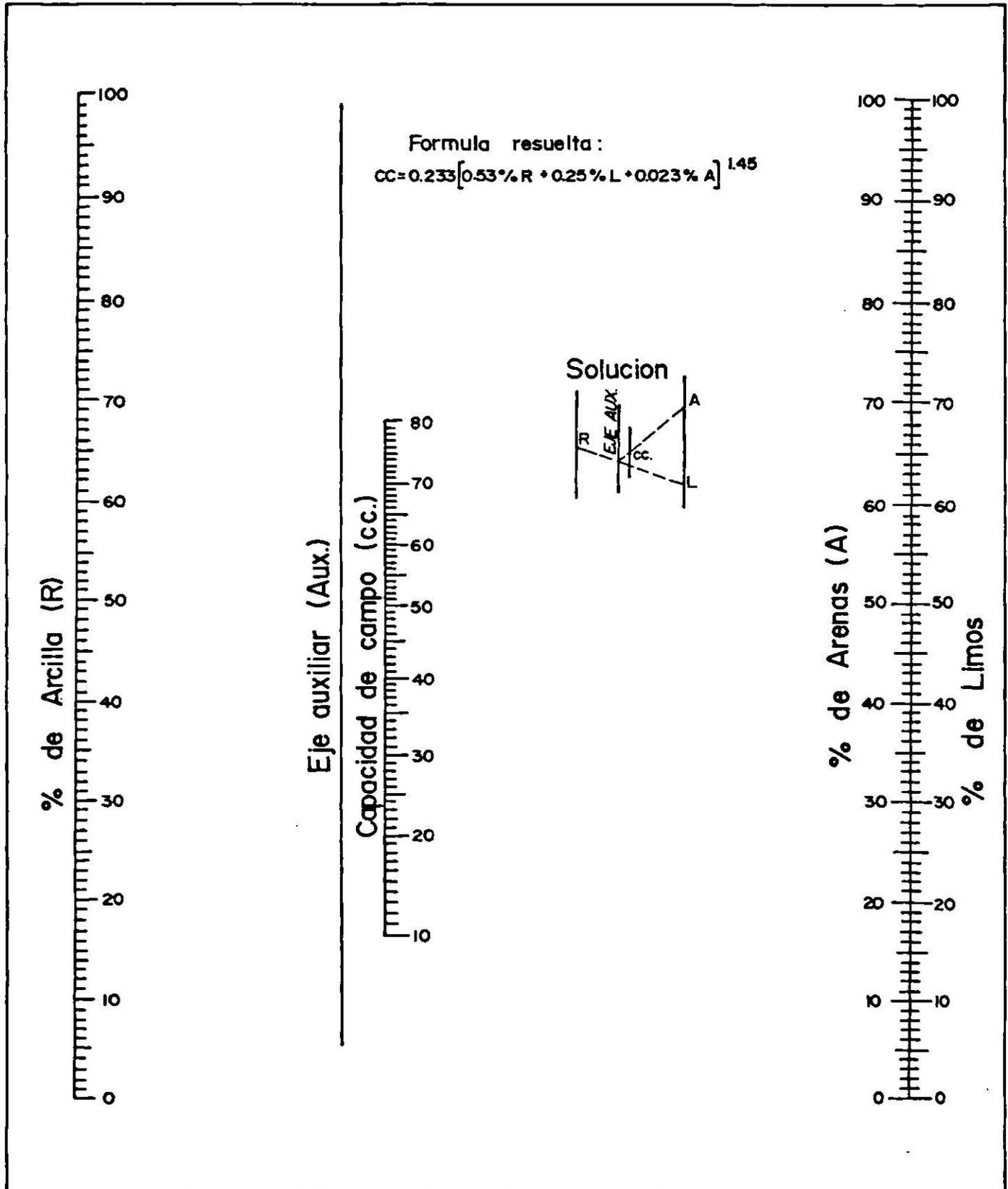
#### Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Es el contenido de humedad que presenta un suelo en el momento que se marchitan las plantas que están desarrollándose en él, sin reponerse aunque se trasladen a una atmósfera saturada de humedad.

Es un factor considerado como fisiológico que depende de las plantas ya que está en función de la fuerza que puede ejercer la planta para absorberla (Garza, 1980; Guzmán, 1981 y Rodríguez, 1983).

Kramer (1974) lo menciona como porcentaje permanente de agotamiento y la utiliza para referirse al límite más bajo de almacenamiento de agua del suelo para el crecimiento de las plantas y que está en función de ésta.

Fig. No. 5. NOMOGRAMA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CAMPO EN FUNCION DE LOS PORCENTAJES DE ARCILLA, LIMO Y ARENA.



El término de PMP es un valor dinámico que depende del suelo, de la planta y del clima (Gavande, 1979).

El PMP se presenta entre 10 y 20 atms y aunque es grande el intervalo en cuanto a tensiones, la diferencia de humedad es mínima (Dueñas, 1981).

Un rango más amplio de 7 a 32 atm es considerado por Ingeniería de Suelos (1978).

a) Factores que afectan el PMP

- 1). Textura. A mayor contenido de arcillas, será mayor el valor de PMP y para suelos arenosos este valor será más bajo.
- 2). Materia orgánica. Los suelos con alto contenido de materia orgánica, son más suaves y las plantas pueden absorber el agua más fácilmente y el PMP es más bajo y aumenta la cantidad de agua disponibles.
- 3). Temperatura del suelo. Las temperaturas bajas del suelo disminuyen la disponibilidad del agua, debido a que a temperaturas frías, el agua tiene más viscosidad y se inhibe la absorción de agua por las plantas.
- 4). Salinidad. Afecta la presión osmótica del suelo, el cual tenderá a reducir el límite de humedad aprovechable en tales suelos por aumento del coeficiente de marchitez.
- 5). Temperatura y humedad del aire. A temperaturas más altas un cultivo llegará más rápido a su PMP, debido a que el cultivo tendrá

más gasto de humedad por evapotranspiración.

Cuando hay humedad en el ambiente, será menor la evapotranspiración y un cultivo tardará más en llegar a su PMP.

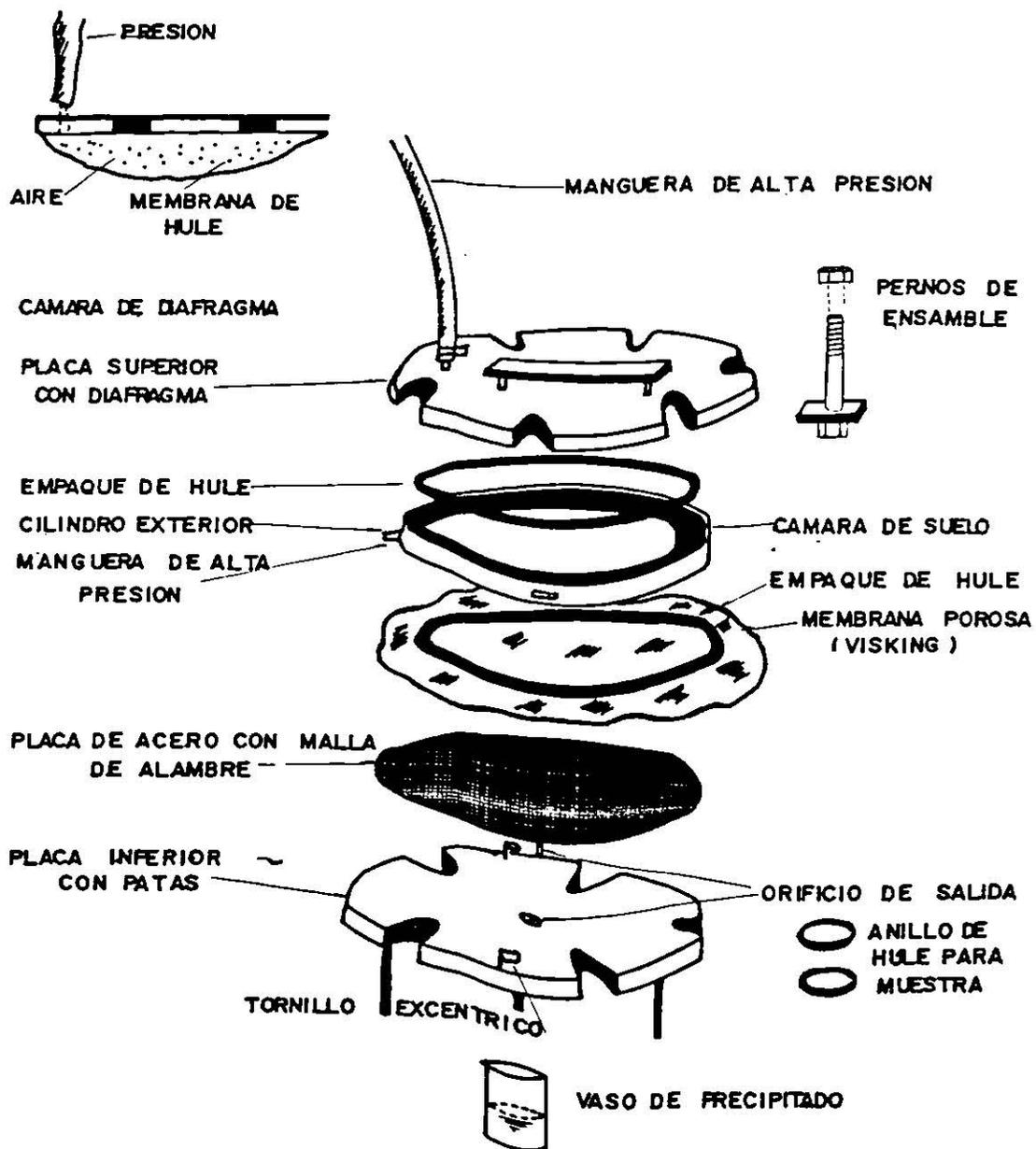
- 6). Cultivo. Cada tipo de cultivo tiene diferente capacidad para ejercer tensión para absorber el agua.
- b). Métodos para determinar PMP (Garza, 1980; Guzmán, 1981 y Rodríguez, 1983).

- 1). Método del girasol. Consiste en promover el desarrollo de plantas de girasol en una muestra de suelo previamente tamizada y secada, de aproximadamente 500 g.

Una vez que se ha seleccionado la planta más vigorosa, se suspende el riego cuando se tienen 3 ó 4 pares de hojas verdaderas, se cubre el bote para evitar evaporación y se observa el comportamiento diario. En el momento que se presenta la marchitez, se colocan en un lugar húmedo si se recuperan, se vuelven a colocar al sol. Cuando ya no se recupera, se dice que ha llegado a su punto de marchitez permanente. Se determina el contenido de humedad a través del Método Gravimétrico.

- 2). Método de la membrana de presión. Consiste en someter una muestra de suelo previamente saturada y colocada sobre una membrana permeable, a una presión de 15 atm para desalojar el agua retenida a menor presión. El tiempo necesario varía de acuerdo al tipo de suelo, pero se requieren como mínimo 24 hr (Figura 6). Una vez que ha dejado de drenar agua, se determina el contenido de

FIGURA 6. COMPONENTES DE UNA MEMBRANA DE PRESION.



humedad a través del método gravimétrico a punto de marchitez permanente.

- 3). Método de la textura. A través del análisis granulométrico, con el uso de la siguiente ecuación:

$$\text{PMP} = 0.428 (A) + 0.21 (L)$$

Donde:

PMP = Punto de Marchitez Permanente

A = Porcentaje de arena

L = Porcentaje de limo

- 4). Método del Equivalente de humedad. Para un conocimiento aproximado del valor de PMP, basta considerarlo como un 50% del valor de la capacidad de campo (Palacios, 1963 citado por Rodríguez, 1983).

### Densidad Aparente

Llamada también peso específico aparente, es la relación que existe entre la masa (peso secado al horno) de las partículas sólidas del suelo y el volumen del suelo seco, incluyendo partículas sólidas y espacio poroso.

Los valores más comunes están entre 0.2 a 0.6 g/cm<sup>3</sup> (Forsythe, 1975 Vega, 1976; Miller, 1978 y Ortíz, 1980).

Esta medida tiene los siguientes usos (Forsythe, 1975):

- i). Transforma los porcentajes de humedad gravimétrica del suelo en términos de humedad volumétrica y consecuentemente calcula la lámina de agua en el suelo.

- ii). Calcula la porosidad total de un suelo cuando se conoce la densidad de las partículas (real).
  - iii). Estima el grado de compactación del suelo por medio del cálculo de la porosidad.
  - iv). Estima la masa de la capa arable.
- a). Factores que afectan la densidad aparente.
- 1). Compactación. (Es proporcional con la profundidad). Entre más compacto sea un suelo, su densidad aparente aumenta y se disminuye la cantidad de espacios porosos.
  - 2). Estructura del suelo. Es considerada como un factor importante el cual está influido por el manejo del suelo.
  - 3). Materia orgánica. Altos contenidos de materia orgánica favorecen una baja densidad aparente.
- b). Métodos para determinar la Densidad Aparente (Forsythe, 1975; Millar 1978; Garza, 1980 y Rodríguez, 1983).
- 1). Método del cilindro de volumen conocido. Este método se adapta solamente a suelos no pedregosos. Se utiliza una barrena que en su interior lleva un cilindro de volumen conocido, con el cual se obtiene la muestra de suelo golpeando verticalmente y por impacto, para evitar influencia de compactación.
- Una vez obtenida la muestra de suelo, se lleva a la estufa para su secado, posteriormente el peso de ésta se divide entre el volumen del cilindro y así se obtiene el valor de densidad aparente.

- 2). Método de la parafina. Se toma un terrón del suelo que se desea analizar, previamente secado al horno; éste se cubre con parafina para evitar que le entre agua y se registra su peso. Se introduce en un recipiente con agua y se obtiene el volumen que desplaza el terrón con la parafina. Finalmente, se divide el peso del terrón entre el volumen de agua desplazado, obteniéndose así el valor de la densidad aparente.

Este método generalmente dá valores más altos de densidad aparente; una razón es que el terrón no incluye el espacio natural entre terrón y terrón (Forsythe, 1975).

- 3). Método de la bolsa de plástico. En el nivel del suelo se hace un pozo de aproximadamente 20 x 20 x 15 cm. La muestra de suelo extraída se somete a secado para obtener su peso. En la parte donde se extrajo la muestra, se coloca una bolsa de plástico procurando que ésta adopte las irregularidades del pozo y se determina el volumen de agua necesarios para llenar el mismo volumen que se extrajo de suelo y así tienen los datos de peso y volumen para obtener su relación.

## CONCEPTOS

### Humedad Disponible (HD)

La humedad disponible o aprovechable por las plantas, se define como la diferencia de contenido de humedad entre la capacidad de campo y el porcentaje de marchitamiento permanente y se considera que a capacidad de campo la humedad aprovechable es de 100% y a punto de marchitez permanente será 0% (Aguilera, 1980).

En la Figura 9 se representa gráficamente la humedad disponible para un suelo de textura arcillo arenosa.

Para suelos de textura media, el valor de capacidad de campo es algo semejante al de los suelos arcillosos y el punto de marchitez permanente está cerca del valor al de los suelos arenosos, estas diferencias son ma yores y hay más agua disponible en estos suelos. Como se puede ver en la Figura 7.

### Lámina de Agua Disponible (LAD)

Se define como la máxima cantidad de agua que puede ser aprovechable por un cultivo (H.D.), expresada en cm de lámina de agua. Esta cantidad de agua está comprendida entre la capacidad de campo y el punto de marchi tez permanente de un suelo, lo cual se vé afectado por la Densidad Aparen te y la profundidad radicular.

$$LAD = \frac{CC - PMP}{100} \times Da \times Pr$$

Donde:

LAD = Lámina de Agua Disponible (cm)

CC = Capacidad de Campo (%)

PMP = Punto de Marchitez Permanente (%)

Da = Densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ )

Pr = Profundidad radicular (cm)

La Lámina de Agua Disponible, es de mucha utilidad, pues con esto se pueden programar la frecuencia de riegos y el monto de la lámina de riego que el suelo puede retener para evitar aplicar agua en exceso.

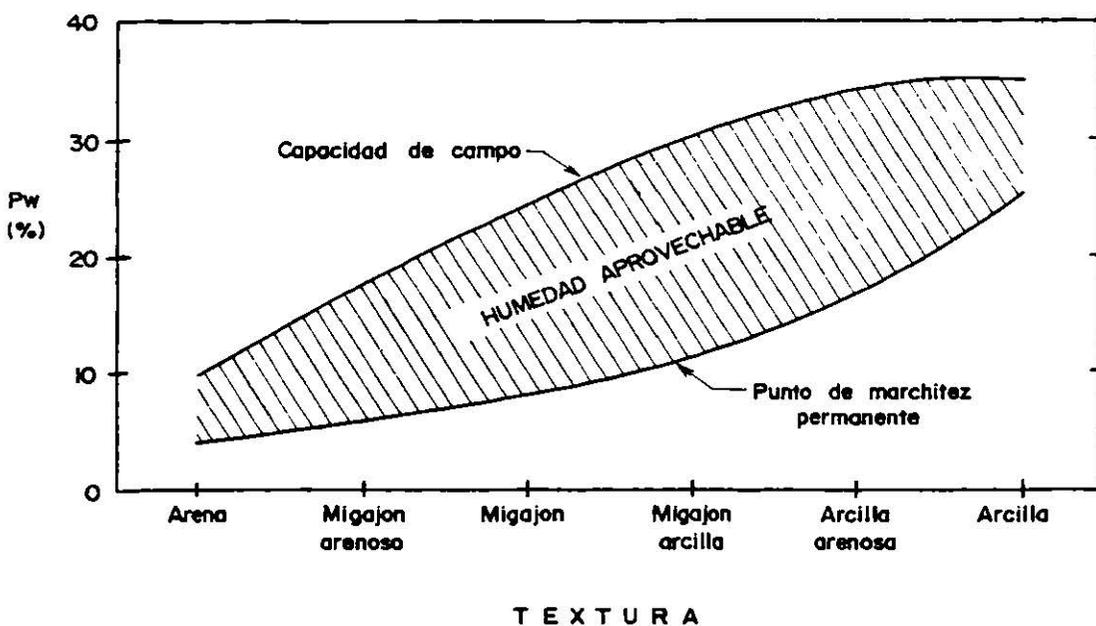


FIGURA 7. Rango de humedad aprovechable para diferentes tipos de texturas.

Lámina de Agua Consumida (LAC) y Porcentaje de Abatimiento (Ibarra, 1982)

Para un óptimo desarrollo de un cultivo, la humedad disponible del suelo, debe de estar a baja tensión, de tal forma que pueda ser absorbida por las plantas sin un gasto excesivo de energía por éstas. Existen rangos de abatimiento de la humedad disponible, de acuerdo al tipo de cultivo.

Para cultivos donde se desea cosechar granos, se ha encontrado experimentalmente que el máximo rendimiento se logra cuando se permite un consumo de alrededor del 50% de la humedad disponible (como maíz, sorgo, frijol, etc.) (Figura 9).

Para cultivos donde se desea cosechar área verde (hortalizas), se recomienda que el consumo de la humedad disponible sea alrededor de un 30% (por ejemplo: lechuga, repollo, etc.) (Figura 9).

Para calcular la cantidad de agua que se ha consumido, se calcula la lámina de agua consumida (LAC) de la siguiente manera:

$$LAC = \frac{CC - CHM}{100} \times Da \times Pr$$

Donde:

LAC = Lámina de agua consumida al momento del muestreo (cm)

CC = Capacidad de campo (%)

CHM - Contenido de humedad al momento del muestreo y ésta expresada en base a peso seco (%)

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Pr = Profundidad radicular (cm)

La lámina de agua puede ser expresada como porcentaje de abatimiento de la siguiente manera:

$$\% \text{ abatimiento} = \frac{\text{LAC}}{\text{LAD}} \times 100$$

Donde:

LAC = Lámina de agua consumida (cm)

LAD = Lámina de agua disponible (cm)

## POTENCIAL DEL AGUA DEL SUELO

A través del método gravimétrico, podemos determinar el contenido hídrico del suelo en base a peso o a volumen y aunque esta información es útil, explica poco respecto a la disponibilidad de agua para el crecimiento de las plantas (Kramer, 1974).

Gavande (1979), citando el trabajo de Briggs y Shantz (1912), se llegó a considerar como invariable el contenido aprovechable de humedad en su punto de marchitez permanente, cualquiera que fuera la especie, sus condiciones meteorológicas del medio ambiente.

El indicador de los conceptos modernos para la presentación termodinámica del conjunto entero, Edlefsen (1941), recomendó que se tratara a los sistemas de agua, suelo, planta y aire como un sistema combinado.

Un método importante y bastante usado hoy en día para identificar los elementos del sistema y para proporcionar una descripción satisfactoria del estado del agua en el suelo fue propuesta por Slatyer y Taylor (1960). Consideraron que el potencial químico es su propiedad decisiva en la terminología termodinámica (Gavande, 1979).

### Potencial químico del agua

Expresa la cantidad de una unidad individual de masa de agua para hacer trabajo, en comparación con el trabajo que podrá realizar otra masa igual de agua pura y libre en el mismo lugar (Gavande, 1972).

El agua pura, es definida como de potencial cero.

El potencial químico del agua del suelo, es llamado Potencial del agua del suelo ( $\psi$  suelo) y es de gran importancia en las relaciones hídricas del suelo (Kramer, 1974).

Las fuerzas principales que contribuyen al potencial hídrico del suelo son:

- a). Las que van asociadas a la matriz del suelo, que son los dos mecanismos principales por los cuales, el agua es retenida, y que juntos constituyen el potencial mátrico  $\psi_m$ .
- b). Las fuerzas que están asociadas a las características osmóticas de la solución del suelo que comprenden el potencial osmótico o de solución  $\psi_o$ .
- c). Las fuerzas que afectan la presión total sobre el agua del suelo, o cualquier componente de presión que contribuya al potencial de presión  $\psi_p$ .
- d). Además, el potencial del agua del suelo puede igualmente ser afectado por campos de fuerza externas, tales como la gravedad, lo cual constituye un potencial gravitacional  $\psi_g$ .

En la relación Agua-Suelo-Planta, no interesan los potenciales parciales, sino el total, entonces se tendría la siguiente ecuación:

De acuerdo a Kramer (1974) y Vega (1976):

$$\psi \text{ suelo} = \psi_m + \psi_p + \psi_o + \psi_g + \dots \text{ (otros)}$$

Donde:

$\psi$  suelo = Potencial total del agua del suelo

$\psi$  m = Potencial matricial o capilar

$\psi$  p = Potencial de presión

$\psi$  o = Potencial osmótico o de solutos

$\psi$  g = Potencial gravitacional

Los puntos suspensivos indican que hay otros potenciales, pero los anotados son los más importantes.

De acuerdo a Gavande (1979):

$$\psi = \psi_o + \psi_{\pi} - \psi_p$$

Donde:

$\psi$  = Potencial total

$\psi_o$  = Potencial matricial

$\psi_{\pi}$  = Potencial osmótico

$\psi_p$  = Potencial de turgencia

Potencial total  $\psi_s$ . Es la cantidad de energía por unidad de volumen.

En algunos casos se han usado los términos de tensión total de la humedad del suelo (SMTS) y déficit de presión de difusión (DPD), para describir el potencial del agua.

#### Componentes del potencial total del agua del suelo (Vega, 1976)

- a). Potencial gravitacional ( $\psi_g$ ). Es el potencial o energía que tiene el agua debido a su posición en el campo gravitacional.

- b). Potencial de presión ( $\psi_p$ ). Es el potencial o energía que tiene el agua por encima de este punto. Es de valor positivo, y se cuantifica en aquellos suelos o fracción del perfil sumergidos en agua. Este valor es de mucha importancia en el diseño de sistema de drenaje. Un suelo con drenaje libre  $\psi_p = 0$ .
- c). Potencial mátrico o capilar ( $\psi_m$ ). En la forma que se determina comúnmente equivale a la succión del suelo o a la tensión de humedad del suelo (Gavande, 1972).

Es el potencial o nivel de energía que tiene el agua debido a los dos mecanismos de retención de agua por las partículas del suelo que son: Efecto de la repulsión entre partículas y efecto de la tensión superficial. Ambos mecanismos actúan al mismo tiempo.

El potencial mátrico  $\psi_m$  tiene un valor negativo, ya que representa un estado de energía del agua menor que el estándar.

El  $\psi_m$  varía en forma proporcional con el contenido de humedad del suelo: a mayor contenido de humedad, el  $\psi_m$  será mayor o lo que es lo mismo, la tensión es menor y viceversa. En un suelo saturado  $\psi_m$  no existe.

- D). Potencial osmótico ( $\psi_o$ ). Es el estado de energía del agua debido a la presencia de las sales en solución, las cuales tienen la propiedad de disminuir la energía del agua. Esto se debe a que al entrar en solución una sal (por ejemplo  $\text{NaCl}$ ), libera aniones ( $\text{Cl}^-$ ) y cationes ( $\text{Na}^+$ ), ya que las cargas de signo contrario se atraen, las moléculas de agua tenderán a orientarse por un lado positivo alrededor del anión y por el lado negativo alrededor del catión.

En un suelo no salino  $\psi_0$  se desprecia; sin embargo en un suelo salino la determinación de  $\psi_0$  es de mucha importancia; además en estos casos el  $\psi_m$  actúa conjuntamente con  $\psi_0$ .

Factores que afectan el potencial del agua del suelo ( $\psi_{\text{suelo}}$ ) Gavande, (1972).

- a). Influencia de la temperatura. A este respecto, son de importancia las siguientes consideraciones:
  - i). La influencia de la temperatura en el potencial de agua es pequeña en suelos húmedos, con potenciales de agua del suelo alto.
  - ii). La influencia de la temperatura en el potencial de agua aumenta conforme los suelos se tornan más secos.
  - iii). Cualquier medición del potencial de agua que no tenga en cuenta el efecto de la temperatura puede ser equivocada.
  - iv). La influencia de la temperatura es distinta en diferentes suelos y con diferentes contenidos de humedad.
- b). Influencia de la presión. Se ha supuesto que un suelo con una composición física o química dada, a temperatura constante y con el mismo contenido de agua, tiene el mismo potencial de agua a nivel del mar que en montes altos. Se duda de esta suposición y se le está investigando.
- c). Influencia de la matriz del suelo. La clase y cantidad de coloides influye en la retención del agua; por lo tanto, los suelos altos en tipos de arcilla montmorillonítica retienen más agua que los suelos arenosos.

- d). Influencia de la densidad aparente. En los resultados de Box y Taylor (1961), citados por Gavande (1979), se nota que al aumentar la densidad aparente, aumenta el potencial del agua.
- e). Influencia de la estratificación. Influye marcadamente en el movimiento del agua, en el interior y a través del suelo. Si en el perfil del suelo existe una capa impermeable, el potencial de agua y el contenido de humedad pueden ser más altos.
- f). Influencia de solutos. Desde hace tiempo, se ha sabido que los solutos disueltos influyen en la cantidad y velocidad de absorción, atribuyéndose a la Reducción del Potencial del Agua. Sin embargo, por estudios recientes, sabemos que tanto los sólidos como el agua pueden ser absorbidos; entonces su influencia puede estar relacionada más directamente con la velocidad relativa de la absorción, en lugar de ser una influencia directa en el potencial del agua.
- g). Influencia del espesor de la película de agua. Los diversos minerales del suelo tienen diferente carga superficial y otras propiedades superficiales. Además, las características de la doble capa dependen de las clases de iones que constituyen la doble capa. Se sabe que tanto la naturaleza de la superficie coloidales como las capas dobles, varían en los diferentes tipos de suelo.
- El espesor de la película de agua será por lo tanto, diferente en los diversos suelos con cualquier valor dado de potencial de agua.
- h). Influencia de la estructura del suelo. Según experimentos por Sharma y Vehara (1968) al estudiar los aspectos de macroestructura y microestructura del suelo, Gavande (1979), considera de importancia

la siguientes: Se concluyó que para fuertes estructuras del suelo, la retención de agua fue influida por la macroestructura, en el rango de tensión 0 y 0.3 atm, mientras que el efecto de la microestructura fue prominentemente mayor a este rango.

- i). Influencia de la histeresis del suelo. El potencial de agua no es función única del contenido de agua del suelo, sino que depende de la historia previa de la humedad de la muestra (Histeresis del agua del suelo).

### Métodos para medir el potencial del agua del suelo

#### Directos de Campo

- 1). Potencial Mático ( $\psi_m$ ). Varias técnicas empleadas para calcular el contenido hídrico del suelo, miden realmente el potencial mático ( $\psi_m$ ), en forma directa o indirecta. Las dos más comunes son las siguientes:
  - a). Tensiómetros. Las medidas directas en el campo del  $\psi_m$  pueden efectuarse únicamente con tensiómetros. Estos son capaces de medir el  $\psi_m$  o tensión de humedad del suelo desde saturación ( $\psi_m = 0$ ) hasta -0.8 atm.
  - b). Bloques de resistencia eléctrica. Estos son sensibles en límites de aproximadamente -0.5 a -15 bariOs de  $\psi_m$ . El contenido de humedad del bloque depende del  $\psi_m$  del suelo, por lo tanto, se puede calibrar el valor de resistencia vs.  $\psi_m$ .

Los bloques de resistencia se calibran a veces colocandolos en un aparato de membrana de presión y se mide su resistencia bajo distintas presiones. Esta calibración permite calcular el

el  $\psi_m$  del suelo, partiendo de lecturas de resistencia de los bloques.

2). Potencial gravitacional ( $\psi_g$ ) y Potencial de presión ( $\psi_p$ ) Figura 8.

Estos potenciales pueden generalmente omitirse (Kramer, 1974).

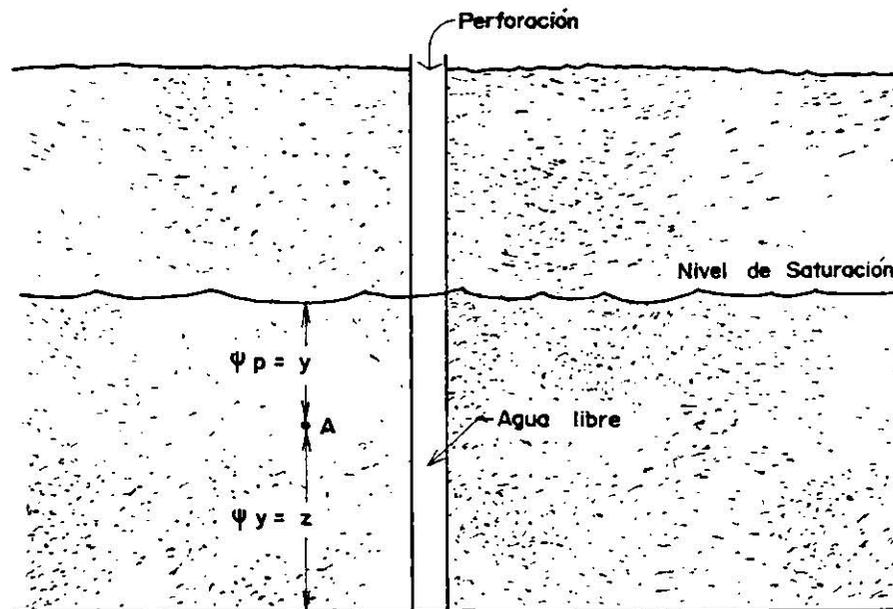


FIGURA 8. Ilustración del potencial gravitacional y de presión .

Fuente: Vega (1976).

#### Métodos de Laboratorio

1). Potencial total del agua. En el laboratorio, puede ser estimado a través de métodos psicrométricos, esto implica la medida de la presión

relativa del vapor con ayuda de un psicrometro termopolar. Esto depende de la relación entre el potencial químico del agua y la depresión de la presión de vapor (Kramer, 1974).

- 2). Potencial mátrico. A través de la olla de presión y la membrana de presión, se puede determinar la relación entre el contenido de agua en un potencial matricial dado en el laboratorio.

Estos aparatos difieren casi solamente en la clase de material de la membrana semipermeable y en el rango de presión en el que funcionan (Figuras 4 y 6).

Cuando se logra el equilibrio entre el potencial capilar y la presión impuesta (indicado, cuando cesa la salida del flujo de agua), se retira la muestra y se determina gravimétricamente el contenido hídrico.

- 3). Potencial osmótico. La medición de  $\psi_0$  puede efectuarse solamente en la disolución del suelo una vez retirada de éste. La presión osmótica del extracto de saturación, se ajusta a lo de la disolución del agua, originalmente más concentrada por medio de una simple corrección proporcional.

El  $\psi_0$  puede determinarse crioscópicamente o en los psicrómetros de presión de vapor (Kramer, 1974).

CUADRO 2. Métodos para medir las relaciones de energía del agua del suelo (Holmes y otros, 1967, mencionados por Gavande, 1979).

Recomendado para medir	Favorable	Condiciones de operación	Limitante	Principales Ventajas y desventajas
<p>1. <u>Mesa de succión</u>                      Contenido de agua en un potencial matricial dado en el laboratorio.</p>	<p>1. Se pueden utilizar las muestras no alteradas                      2. Se necesitan pocas medidas.                      3. Las medidas no son repetidas                      4. Suelo húmedo</p>	<p>1. Suelos difíciles de muestrear                      2. Se necesita gran número de medidas                      3. Las medidas no se pueden hacer en suelos secos</p>	<p>1. Equipo simple y barato                      2. Requiere muestras en el laboratorio.                      3. Cubre sólo una parte del rango del agua del suelo                      4. Requiere mucho tiempo para el equilibrio.</p>	
<p>2. <u>Equipo de Presión</u>                      Relación entre el contenido de agua y el potencial matricial en el campo.</p>	<p>1. Muestras no alteradas                      2. Se necesitan pocas medidas                      3. Las medidas no son repetidas</p>	<p>1. Suelos difíciles de muestrear                      2. Se necesitan gran número de medidas</p>	<p>1. Cubre todo el rango de campo del agua                      2. Requiere muestras en el laboratorio                      3. Requiere mucho tiempo para el equilibrio                      4. Requiere equipo especial</p>	
<p>3. <u>Tensiómetros</u>                      Potencial matricial del suelo</p>	<p>1. Suelo húmedo                      2. Medidas repetidas en el mismo lugar</p>	<p>1. Suelo seco</p>	<p>1. Rápida y exacta determinación en el laboratorio.                      2. Requiere servicio de campo                      3. Sensitivo a la temperatura</p>	
<p>4. <u>Psicómetros</u>                      Potencial total de agua en el laboratorio.</p>	<p>1. Preciso en condiciones de laboratorio                      2. Se obtienen fácilmente las muestras</p>	<p>1. Muestras difíciles de obtener                      2. Laboratorio no acondicionado</p>	<p>1. Método rápido para obtener el potencial total de agua en suelo y plantas                      2. Se requiere equipo especial de laboratorio y procedimiento.                      3. Requiere escrupulosa limpieza.</p>	
<p>5. <u>Bloques de Resistencia Eléctrica</u>                      Potencial matricial en el campo, no recomendado para medidas del contenido de agua.</p>	<p>1. Suelos no salinos                      2. Porción seca del rango del agua en el campo.                      3. Medidas repetidas en el mismo punto</p>	<p>2. Suelos salinos                      3. Suelos húmedos y mojados</p>	<p>1. Medidas no destructivas repetidas en el mismo lugar si es posible                      2. Relaciones moderadamente buenas entre el potencial y el bloque de lecturas                      3. Unidades baratas                      4. Cambio de calibración                      5. Relación pobre entre el contenido de agua del suelo y los bloques.</p>	

## TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO (THS)

Cuando un suelo después que ha sido saturado y drenado libremente, el suelo queda a su máxima capacidad retentiva y se dice que está a capacidad de campo y entre sus partículas queda retenida el agua debido a la acción de dos fuerzas:

- 1). La tensión superficial (fuerza de cohesión del agua). Se puede definir como la fuerza de atracción entre moléculas que sugiere la existencia de una película en la superficie de los líquidos.
- 2). Fuerza de absorción (fuerza de adhesión). Es un fenómeno físico de superficie y cuya fuerza es de naturaleza eléctrica. Ocurre a nivel coloidal debido a las superficies de contacto.

A la suma de estas dos fuerzas se le llama tensión de humedad del suelo (THS).

$$\text{THS} = \text{Tensión Superficial} + \text{Fuerzas de Absorción}$$

## ESFUERZO DE LA HUMEDAD DEL SUELO (EHS)

Para que las raíces de las plantas puedan absorber la humedad disponible de un suelo, tienen que vencer la tensión de humedad del suelo y además, vencer otra fuerza que es la presión osmótica.

Presión Osmótica (PO), Devlin (1976), citado por Aguilera (1980). Dice que se puede definir como la presión necesaria para contrarrestar el paso de agua pura al interior de una solución acuosa a través de una mem-

brana semipermeable, evitando así un incremento en el volumen de la solución.

Lo mismo sucede con las sales en solución existentes en el suelo, así la raíz para absorber el agua tiene que vencer además de la fuerza de tensión, las fuerzas osmóticas.

A la suma de las fuerzas de tensión y la presión osmótica, se le llama Esfuerzo de Humedad del Suelo (EHS).

$$\begin{matrix} \text{EHS} & = & \text{TSH} & + & \text{PO} \\ (\text{atm}) & & (\text{atm}) & & (\text{atm}) \end{matrix}$$

#### CURVAS CARACTERISTICAS DE LA HUMEDAD DEL SUELO

Es la representación gráfica de la relación entre el contenido de humedad de un suelo ( $P_w$ ) y la tensión (TSH ó  $\psi_m$  y EHS) (Vega, 1972 y Aguilera, 1980).

Winter (1977), la define como curva característica de Liberación de Humedad, ya que proporcionan los medios convenientes para describir las propiedades de Liberación de Humedad por los distintos suelos (Figura 9).

En la Figura 9 se observa que para los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, el  $\psi_m$  o tensión de humedad del suelo, corresponden a  $-1/3$  y  $-15$  atm respectivamente.

Observe que para pasar  $P_w$  de 37% (CC) a otra  $p_w$ , digamos de 23% (diferencia de 14% en el contenido de humedad que equivale al 70% de la humedad disponible);  $\psi_m$  cambia de  $-0.3$  a  $-5$  atm. Comparándolo con el

comportamiento al pasar (gráficamente)  $P_w$  de 23 a 17% (PMP) (diferencia de 6% del contenido de humedad, que equivale a 30% de humedad disponible);  $\psi_m$  cambia de -5 a -15 atm.

De lo anterior se concluye, que en un suelo recién regado a (CC), se requiere poco cambio en  $\psi_m$  (poco gasto de energía por la planta) para extraer mucha agua, en cambio conforme disminuye el contenido de humedad, aumenta el cambio en  $\psi_m$  y disminuye la cantidad de agua extraída (y la planta utiliza más energía para absorberla).

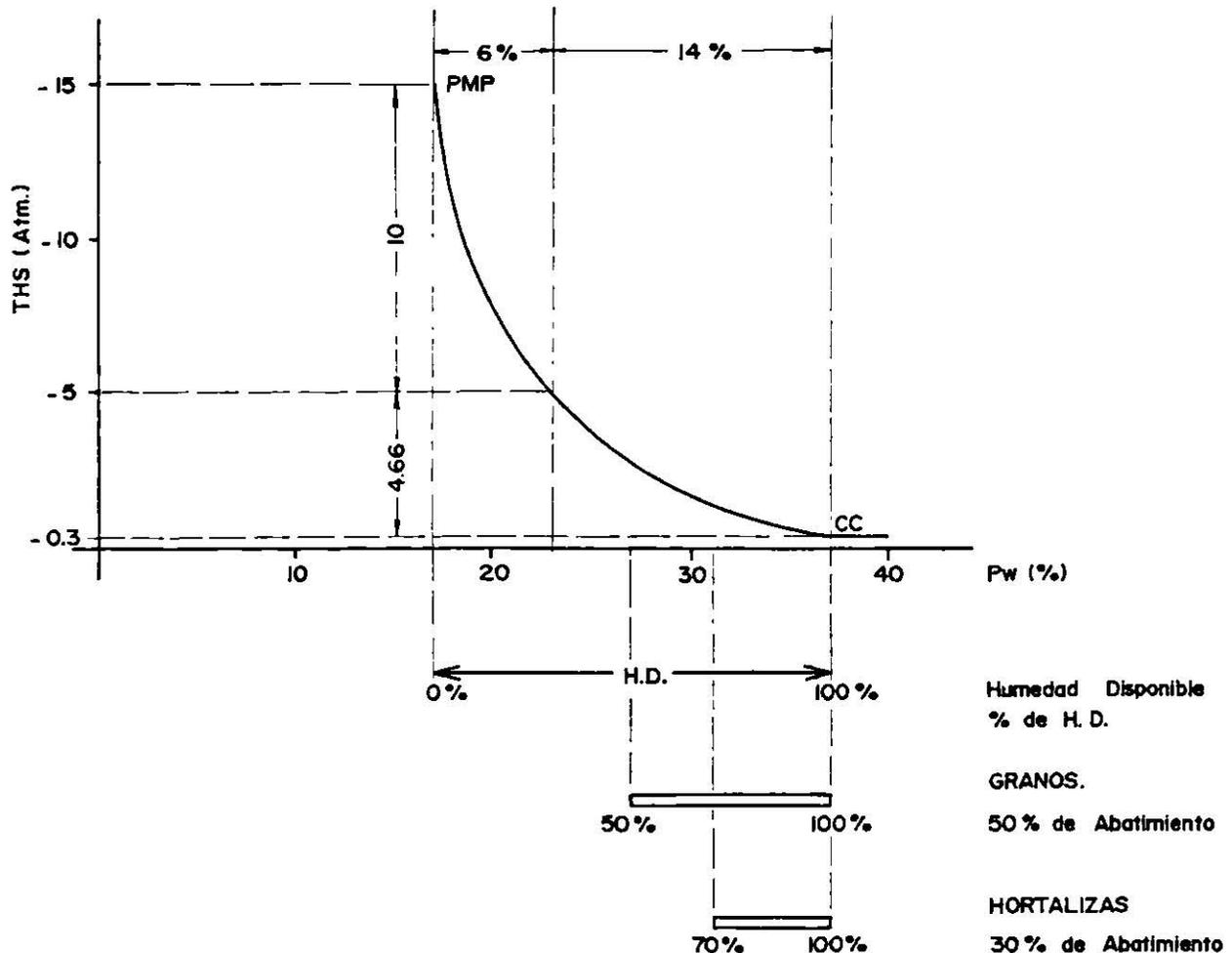


FIGURA 9. Curva característica de THS o liberación de humedad, representación gráfica de la HD y porcentaje de abatimiento para un suelo de textura arcillo arenosa.

Métodos para determinar las curvas de humedad del suelo (Aguilera, 1980).

1). Laboratorio

Consiste en obtener datos de contenido de humedad para el suelo que se desea analizar, a diferentes tensiones. Esto se logra sometiendo muestras previamente saturadas a presiones de 0.3 atm que es cuando se considera que el suelo está a su máxima capacidad de retención de agua hasta 15 atm, tensión a la que se alcanza a proximadamente el PMP. En el laboratorio se hace uso de la olla de presión (para bajas tnesiones, 0.3 a 3 atm) y de la membrana de presión (altas tensiones, 3 a 15 atm). El funcionamiento de estos aparatos ya se explicó en el punto anterior (Figura 4 y 6).

Al graficar en un sistema de coordenadas, los valores de THS o  $\psi_m$ , con sus respectivos contenidos de humedad (Pw) obtenidos, se tendrán una serie de puntos que al unirlos formaran la curva de tensión de humedad del suelo (THS) (Figura 9).

2). Analítico

a). Tensión de humedad del suelo

a.1. Por cálculo. Cuando se dispone de pocos datos (CC y PMP) Palacios (1963), citado por Aguilera (1980), propone la siguiente ecuación:

$$T = \frac{K}{P_s^n} + C$$

Donde:

T = Tensión del suelo

Ps= Porcentaje de humedad (Pw) (%)

$n$  = exponente que depende de las características físicas del suelo, adimensional.

$k$  = constante que también depende de la textura, estructura y compactación, adimensional.

$c$  = constante que también es función de las características físicas del suelo, adimensional.

La relación de CC y el valor de  $C$  se puede expresar por medio de la siguiente ecuación:

$$C = -0.000014 \text{ CC}^{2.7} + 0.3$$

Para mayor facilidad en el cálculo, la ecuación que relaciona la tensión del suelo con el porcentaje de humedad se puede expresar en forma logarítmica:

$$\text{Log } (T-C) = \text{Log } K - n \text{ Log } P_s$$

Los valores de  $n$  y  $k$  se puede obtener por medio de la siguiente ecuación:

$$n = \frac{\text{Log } (T_{pmp} - C) - \text{Log } (T_{cc} - C)}{\text{Log } P_{s_{pmp}} - \text{Log } P_{s_{cc}}}$$

$$\text{Log } k = \text{Log } (T_{pmp} - C) + n \text{ Log } P_{s_{pmp}}$$

a.2. Método Gráfico. Cuando solamente se conoce el valor de capacidad de campo y se desea conocer en forma aproximada la relación de tensión y contenido de humedad, y que no se tie

nen los medios adecuados para obtener las curvas en laboratorio, entonces se recurre a gráficas ya establecidas para obtener los parámetros  $k$ ,  $n$  y  $c$ , con base en la capacidad de campo (Figura 10).

b). Esfuerzo de humedad del suelo (EHS)

Para obtener la curva de EHS, a los valores de la curva THS (para el mismo suelo), se le agrega el esfuerzo ocasionado por la presión osmótica ( $PO$ ) que se deriva de las sales en solución existentes en el suelo y se representan gráficamente en el mismo sistema de coordenadas si así se desea.

El cálculo de la presión osmótica a cualquier contenido de humedad ( $PO_{psx}$ ) se hace por medio de la siguiente ecuación:

$$PO_{psx} = PO_{sat} \cdot \frac{Ps}{Psx}$$

Donde:

$PO_{psx}$  = Presión osmótica para X porcentaje de humedad del suelo atm.

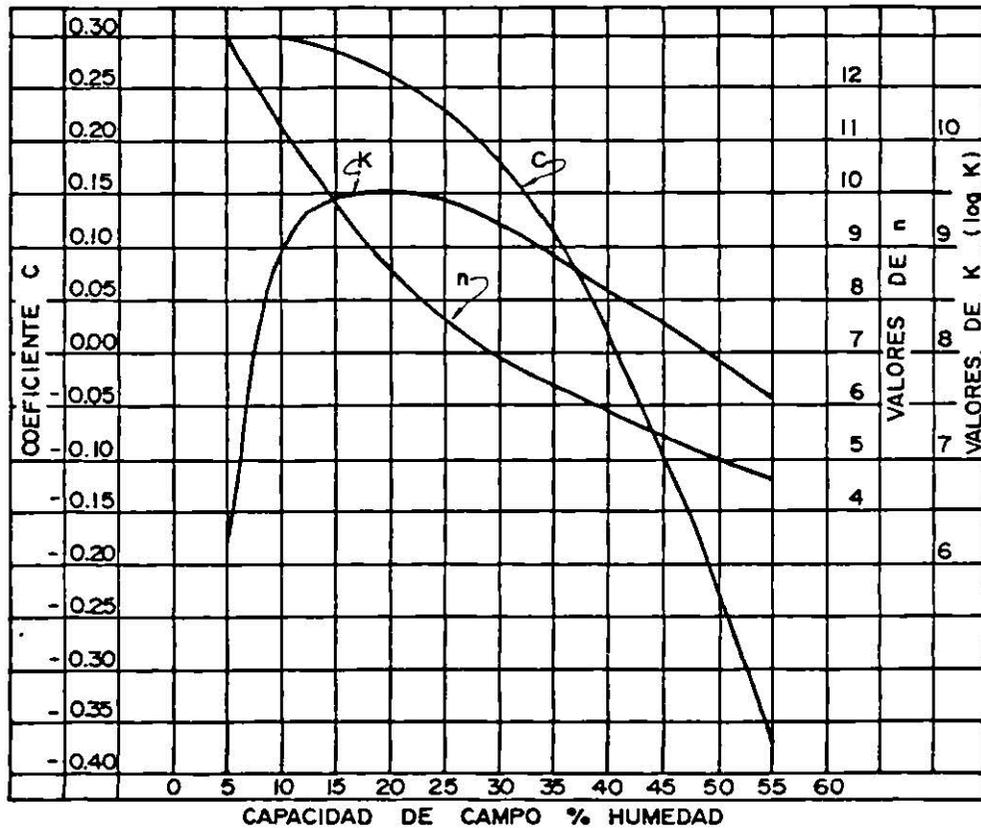
$PO_{sat}$  = Presión osmótica a saturación, atm.

$$PO_{sat} = 0.36 \text{ CE} \times 10^3$$

$Ps$  = Porcentaje de humedad a saturación

$Psx$  = Porcentaje de humedad X (%)

Figura 10. GRAFICAS PARA LA OBTENCION DE LOS PARAMETROS K, n Y c DE LA ECUACION DE LA CURVA DE TENSIÓN DE HUMEDAD.



FORMULA PARA CALCULAR LA TENSION DEL SUELO EN FUNCION DE SU PORCENTAJE DE HUMEDAD RESPECTO AL SUELO SECO Y GRAFICAS PARA OBTENER LOS PARAMETROS CON BASE EN LA CAPACIDAD DE CAMPO.

$$\text{FORMULA OBTENIDA.} - T = \frac{K}{P_s^n} + c$$

$$\text{EXPRESION LOGARITMICA} \quad \text{LOG. (T-C) = K - n LOG P}_s$$

## BIBLIOGRAFIA

- Aguilera, C.M. y Martínez, E.R. 1980. Relaciones agua-suelo-planta-atmosfera. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. pp. 24, 70-74, 109-158.
- Buckman, H.O. y Brady, N.C. 1977. Naturaleza y propiedades de los suelos. Montiel & Simons. Barcelona, España. pp. 172-176, 187-189.
- Dueñas, G.R.; Assenan, M.D. y Alonso, R.N. 1981. El Riego. Ed. Pueblo y Educación. La Habana. pp. 12, 24-29.
- Forsythe, W. 1975. Física de Suelos. Manual de laboratorio. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. pp. 17-19. 39-43, 97-103.
- Garza, M.M. 1980. Los coeficientes hídricos y el valor práctico que tienen en el riego. Trabajo práctico. FAUANL. Monterrey, N.L. pp. 3-21.
- Gavande, S.A. 1979. Física de Suelos. Principios y Aplicaciones. Ed. LIMUSA. México, D.F. pp. 161-197, 338-339.
- Guzmán, C.I. 1981. Ecuaciones de predicción de las constantes hídricas (CC y PMP) a partir de la textura de la capa arable de los suelos del estado de Nuevo León. Tesis FAUANL. Marín, N.L. pp. 12-16.
- Ibarra, R.B.S. 1982. Curso de Uso y Manejo del Agua. FAUANL. Marín, N.L.
- Ingeniería de Suelos. 1978. Relación entre Suelo-Planta-Agua. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América. Editorial Diana México, D.F. pp. 25-31, 78-83.
- Israelsen, O.W. y Hansen, V.E. 1973. Principios y Aplicaciones del Riego. Ed. Reverté, S.A. México. pp. 144-147, 155, 159-162, 172-179.
- Kramer, P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelo y planta. Una Síntesis Moderna. EDUTUX, S.A. México, D.F. pp. 62-70, 82-100.

- Millar, C.E., Turk, L.M. y Foth, H.D. 1978. Fundamentos de la Ciencia del Suelo. CECSA. México, D.F. pp. 91-205.
- Ortíz, V.B. y Ortíz, S.C.A. 1980. Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo. Suelos. Chapingo, México. pp. 30-32, 75, 154-159.
- Rodríguez, C.J.C. 1983. Comprobación de métodos para determinar capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y densidad aparente en suelos de textura arcillosa y franca. Tesis FAUANL. Marín, N. L. pp. 8-21.
- Secretaría de Recursos Hidráulicos. 1963. Cuánto, Cuándo y Cómo regar. Memorandum Técnico No. 195. México, D.F. pp 96-111.
- Suárez, C.F. 1965. Conservación de Suelos. Salvat Editores, S.A. Barcelona. pp. 3, 4.
- Trisoldi, A. 1967. El Riego. Planificación y Prácticas. Ed. Aedos. Barcelona. pp. 46-53.
- Vega, G.J.D. 1976. Curso de Uso y Manejo del Agua. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Monterrey, N.L. pp. 108-119.
- Winter, E.J. 1977. El Agua, El Suelo y La Planta. Ed. Diana. México, D.F. pp. 70-88.
- Wooding, R.G. 1967. Los Suelos. Su origen, constitución y clasificación. Introducción a la Edafología. Ed. OMEGA, S.A. Barcelona. pp. 248.

