

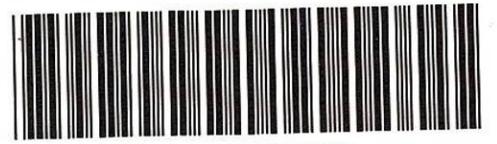
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
NUEVO LEÓN
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Escuela de Agronomía
Carrilón de la Universidad de
Nuevo León, México, D.F.
1975



TL
S594
E8
c.1



1080062563

LAS GRACIAS AL ING. ESCOBEDO
POR SU COLABORACION

Rafael Colada P.

26/JUN/75

Jueves 26/Junio/75

16:00 PM. ~ 4 de
1a tarde

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE
NUEVO LEON
FACULTAD DE AGRONOMIA



Estudio Comparativo de Diferentes Metodos
para la Determinación de la Capacidad de
Campo, Construcción y Manejo de la Mesa
de Tensión.

T E S I S

PEDRO CARLOS ESTRADA BELLMANN

- 1975 -

T
5594
EB

040.631

FAL

1975



Biblioteca
Maena S. S. S. S.



BURATI RANGAI FIDES
UANL
FONDO
TESS LICENCIATURA

.CON RESPETO Y CARIÑO:

A MIS PADRES:

DR. MARIO SERGIO ESTRADA GARCIA (+)

SRA. CARMEN BELLMANN DE ESTRADA.

A MIS HERMANOS:

MARIO SERGIO, ERICK, GRETTEL

THISBE, CARMEN E INGRID.

A MI NOVIA:

NORAH PATTRICIA

CON AGRADECIMIENTO AL SR. ING.

M.S. JUAN F. PISSANI ZUÑIGA

QUIEN ME DIRIGIO EN LA

ELABORACION DE MI

TESIS

I N D I C E

INTRODUCCION.....	1
OBJETIVOS.....	2
LITERATURA REVISADA.....	3
Definición.....	3
Factores que Influyen a la Capacidad de Campo.....	4
El Agua.....	5
Cohesión.....	6
Adhesión.....	7
Textura.....	8
Estructura.....	9
Estratificación.....	11
Materia Orgánica.....	11
Temperatura.....	12
Solutos.....	13
Espesor de la Película de Agua.....	14
Peso Específico Aparente.....	15
Factores en Forma de Potencial.....	16
Potencial Matricial.....	16
Potencial Gravitatorio.....	17
Potencial Osmótico.....	18
Influencia del Drenaje.....	22
Aplicaciones del Concepto Capacidad de Campo.....	23
Métodos.....	23
Descripción y Discusión sobre algunos Procedi- mientos y Equipos Previamente utilizados.....	28

Procedimiento I.....	29
Procedimiento II.....	30
Procedimiento III.....	32
Variantes Recomendadas.....	35
MATERIALES Y METODOS.....	39
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	46
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	56
RESUMEN.....	60
BIBLIOGRAFIA.....	62

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.

TABLA	1	TEXTURA PERFIL DE SUELO CON CLASIFICACION AGRONOMICA: ARCILLOSO	47
TABLA	2	MATERIA ORGANICA PERFIL DE SUELO DE CLASIFICACION AGRONOMICA: MEDIANO.	47
TABLA	3	SALES EN EL SUELO PERFIL DE SUELO DE CLASIFICACION AGRONOMICA: NO SALINO.	48
TABLA	4	PESO ESPECIFICO APARENTE OBTENIDO POR LA TECNICA DEL NUCLEO.	48
TABLA	5	PORCIENTOS DE HUMEDAD DEL PERFIL DEL SUELO SEGUN LOS METODOS QUE SE SUSCRIBEN A CONTINUACION..	49
TABLA	6	COMPARACION DE DATOS OBTENIDOS EN PORCIENTOS DE HUMEDAD DE LA MESA DE TENSION Y SUS RESPECTIVOS PESOS ESPECIFICOS APARENTES..	51
FIGURA	1	APARATOS PARA APLICAR PRESION DIFERENCIAL A TRAVES DE UNA PLACA POROSA Y MEDIR EL POTENCIAL MATRICAL.	26
FIGURA	2	EMBUDO BUCHNER CON FILTRO Y COLUMNA DE AGUA SUSPENDIDA.	31
FIGURA	3	MESA DE TENSION IDEADA POR R.W.LEAMER Y B.A. SHAW..	31
FIGURA	4	TOMA MUESTRAS PARA OBTENER CILINDRO DE MUESTRAS	

NO ALTERADAS DE 5 CMS. DE DIAMETRO Y 5 CMS. DE --	
ALTURA.	31
FIGURA 5 CAJA DE TENSION.	33
FIGURA 6 MESA DE TENSION MODELO PROPUESTO POR EL ING. PLA-	
SENTIS.	37
FIGURA 7 DISEÑO MODIFICADO DE LA MESA DE TENSION.	41
FIGURA 8 CURVAS DE HUMEDAD DE LOS CUATRO METODOS USADOS. . .	53
FIGURA 9 MESA DE TENSION	54

I N T R O D U C C I O N

En México se hace latente la urgente necesidad de introducir la técnica al campo para la mayor aprovechabilidad de recursos naturales y humanos, por lo tanto la labor del Ingeniero Agrónomo es aumentar la eficiencia en el uso de dichos recursos naturales.

En México la extensión de tierra cultivable es de 200 millones de hectáreas de las cuáles en un 43% del área del País el riego es indispensable (zonas áridas) en un 34% es necesario el riego (zona semi-árida), es conveniente en un 16% (zona semi-húmeda), e innecesario en un 7% (zona húmeda)

Por lo tanto, el uso de la técnica de riego es muy importante en nuestro País. La técnica precisa de métodos y determinaciones eficientes.

Una de las propiedades de mayor valor práctico en suelos de riego, es la retención de humedad. En primer término se consideran las constantes de humedad del suelo, después la curva de retención de humedad y finalmente la relación entre contenido de humedad y el esfuerzo de la humedad del suelo.

La Constante Hídrica a estudiar es la llamada Capacidad de Campo. La importancia que existe en la determinación de dicha constante es la de manejo y eficiencia de los métodos pues la Capacidad de Campo es importante para la determinación de riegos y otras determinaciones relacionadas con la anterior, dado que la Capacidad de Campo determina un punto específico de la curva del contenido de humedad.

O B J E T I V O

El objetivo de la presente Tesis es "EL ESTUDIO COMPARATIVO DE DIFERENTES METODOS USADOS PARA LA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CAMPO Y LA CONSTRUCCION Y MANEJO DE LA MESA-DE TENSION".

Para este estudio usaremos los métodos siguientes:

"METODO DE LA MESA DE TENSION".

"METODO DIRECTO O GRAVIMETRICO".

"METODO DE LA OLLA DE PRESION" y

"METODO DE COLUMNAS DE SUELO".

Los métodos anteriores difieren en su manejo, costo y tiempo. Lo que nos servirá ante todo para formar un criterio sobre las ventajas que ofrece cada método y la diferencia de los resultados obtenidos por cada uno de los métodos usados.

Para realizar este experimento se escogió un mismo perfil de suelo de dos metros, muestreándolo cada 10 centímetros. El objeto de tomar el mismo perfil; fué para poder valorar - con mayor veracidad los resultados obtenidos.

LITERATURA REVISADA

Definición

La Capacidad de Campo, también ha sido llamada Capacidad de Conducción de Campo, Capacidad de Humedad Normal y Capacidad Capilar. (11)

Lo que retiene el terreno previamente saturado, cuando - por tener drenaje libre ha perdido el agua gravitante, se llama Capacidad de Retención o Capacidad de Campo, se trata del máximo de humedad que puede retener un suelo contra la gravedad. (7,9 y 14)

La situación existe generalmente de 1 a 3 días después - de que el suelo haya sido totalmente mojado por la lluvia o - el riego. (11) Generalmente se toman 48 horas después del riego con la superficie protegida contra la evaporación. (19)

La Capacidad de Campo se expresa en porcentaje de agua, - referido al peso de muestra desecada a la estufa. (13) El exceso de agua de los intersicios mayores, descenderá inmediatamente a niveles más bajos, dejando llenos de humedad los intersicios finos de los niveles inferiores. Habrá después un lento transporte por movimiento capilar desde la superficie a la capa que está inmediatamente debajo de ésta, esta transferencia tiene lugar tan solo en una extensión limitada hasta saturar lo que se conoce como Capacidad de Campo, y a cierta profundidad quizá unos pocos centímetros se alcanzará el equilibrio. (8)

Aunque la palabra "Capacidad" significa algo más específico, quizá la expresión "Capacidad de Campo" en virtud de su

largo uso podría conservar su significado pero si se quiere - dar la acepción de contenido de agua de un perfil después de - que el drenaje se ha hecho "insignificante". Quizá la termino- logía debe incluir una designación de la tasa de drenaje. Por ejemplo "Capacidad de Campo para un drenaje de 2mm/día".

Sin embargo, la creciente aceptación del hecho de que la- mayor parte de los suelos no tienen en realidad unà capacidad- única de retención de agua, puede llevar al abandono de esta - expresión en este sentido.

Cuando se quiere especificar un estado energético del a-- gua en el suelo, aparte del problema dinámico de las variacio- nes en el contenido de agua en un perfil, la expresión Capaci- dad de Campo debe ser completamente eliminada, es preferible - hacer uso del Potencial Matricial. (2)

"Factores que influyen en la Capacidad de Campo"

Entre las propiedades físicas destacan, la Textura (pro - porción de los diferentes tamaños de partículas minerales), y - la Estructura (agregación y disposición de dichas partículas)- como principales influyentes sobre las relaciones "suelo-agua."

Esta influencia se debe a que ambas son las determinantes de la forma, tamaño y disposición de los poros del suelo, todo -lo cual determina a su vez el movimiento y retención del agua en el suelo, por razones que a continuación se exponen.

El agua que penetra en el suelo, queda sometida a una se- rie de fuerzas derivadas directa e indirectamente de la presen- cia de la fase sólida del suelo, de las sales disueltas y del-

campo gravitacional. Las fuerzas derivadas de la fase sólida-comprenden por un lado la acción combinada de la adhesión y cohesión que dan lugar al ascenso capilar del agua en los pequeños poros del sistema suelo-agua, formándose un menisco cóncavo, dependiendo de la magnitud de ese efecto del tamaño de los poros. Por otro lado, la fase sólida ejerce una fuerza osmótica atrayente sobre el agua, la cuál se debe a la presencia de iones adsorbidos (iones intercambiables) en la superficie de las partículas. Este efecto depende de la Capacidad de intercambio de la fase sólida y por ello de su superficie específica. La combinación de estas fuerzas, cuya magnitud aumenta con el descenso del contenido de humedad del suelo., es la responsable de la retención de agua en el suelo contra la fuerza de gravedad u otras presiones o succiones a las cuáles se someten en el laboratorio. Además, para diferentes suelos con el mismo contenido de humedad ésa fuerza de retención aumenta con su superficie específica, al disminuir el tamaño de los poros.(16)

La Capacidad de Campo no es un valor único del suelo. El sistema dinámico de remoción de agua por medio de drenaje, evaporación y transpiración, y el agua que se agrega por medio de el rocío de lluvia y de irrigación, son factores diversos que nunca se logra el equilibrio entre la cantidad de agua del suelo y el campo de fuerza gravitacional. Hay otros factores que influyen en el equilibrio, incluyendo la histéresis, la temperatura del suelo, su textura y estructura, etc. (6)

El Agua:

La cantidad y el estado energético del agua, influyen en-

las propiedades físicas del suelo más que ningun otro factor.-

Recientes descubrimientos (Deryaguín 1966, Lippincott y Col. 1969) han revelado que el agua destilada recogida en tubos capilares de vidrio pyrex o de sílice tiene propiedades físicas diferentes de las del agua ordinaria, aún después de extraída de los capilares. Esta agua a la que Deryaguín ha dado el nombre de "Agua Anómala" y Lippincott y Col. el de "Poliagua" ó "Agua Polímera", es notablemente más densa que el agua ordinaria (hasta $1.4g./cm^3$) (2)

Cohesión:

La fuerza de cohesión debe variar inversamente en el contenido de humedad para un tamaño y un número dado de partículas, además mientras no halla exceso de agua, el producto de la fuerza de cohesión por el contenido de humedad debe ser constante. Nichols verificó este hecho experimentalmente en suelos sintéticos. La cohesión aumenta con el contenido de arcilla, los valores de humedad representan los puntos de máxima cohesión en las curvas de cohesión en función de la humedad de el suelo.

En un suelo parcialmente saturado, el menisco aire-agua se retrae en los poros menores en donde aumenta la tensión superficial.

Aunque indudablemente Schofield acertó al afirmar que las fuerzas causantes de los efectos de la tensión superficial o bien aun en películas muy delgadas, una completa y adecuada descripción de la cohesión del suelo, no puede basarse en tales fuerzas. Los experimentos de Vomocil y Valdrom (1962) en-

sistemas no saturados formados por bolitas de vidrio, demostraron que aún en un sistema relativamente sencillo las películas de agua tienen creciente importancia a medida que el contenido de agua disminuye.

El aumento de la cohesión a medida que el contenido de -- humedad disminuye, es debido a la disminución del espesor de -- las películas de agua. La arcilla tiene mayor cohesión que una marga arenosa fina; ésto es el resultado del mayor número de -- películas de humedad y del mayor contacto superficial.

Cualesquiera que sean los mecanismos de la cohesión del -- suelo, se observa casi invariablemente que aún una modesta suc-- ción del suelo tiende a darle estabilidad sea cual fuere su -- textura, a medida que el contenido de agua aumenta de manera que la succión se reduzca, desde unos cuantos milibares a cero, se ve una tendencia cada vez mayor del suelo a dispersarse ó aflo-- jarse. (2)

Adhesión:

Por lo común, la adhesión de un cuerpo extraño al suelo -- ocurre solo con valores de humedad mayores del correspondiente a la cohesión máxima. Con esta mayor humedad, el agua es re-- tenida menos fuertemente por las partículas y es atraída hacia la superficie del cuerpo para formar películas de unión entre-- éste y el suelo. La adhesión del suelo al objeto se hace por-- medio de estas películas. El contenido de humedad en que ocu-- rre la adhesión máxima, depende de la cantidad de agua que se-- requiere para mantener las películas entre las partículas y -- las fuerzas de atracción sobre la superficie del cuerpo extra--

ño. La fuerza de adhesión entre el suelo y un metal es una función lineal del contenido de coloides (Nichols 1929). La adhesión es directamente proporcional a la tensión superficial del líquido de dispersión. (2)

Textura:

La textura del suelo está relacionada con el tamaño de las partículas minerales específicamente se refiere a la proporción relativa de los tamaños de varios grupos de partículas de un suelo. Esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de nutrientes, sino también agua y aire, tan importante para la vida de las plantas. (6)

La montmorillonita, con su gran capacidad de intercambio de cationes por unidad de masa y su gran superficie específica tiene mucho mayor capacidad de adsorción de agua que la ilita. La caolinita tiene la menor capacidad de adsorción entre los tres minerales de los suelos. Con 50% de humedad relativa (suelo muy seco), la adsorción de agua referida a la masa es de 21 4.5 y 0.5% en la montmorillonita, ilita y caolinita respectivamente. Estas diferencias se originan en la distinta constitución del retículo cristalino y en las diferencias de los lugares de carga negativa. Como demostraron Thomas (1928) y Baver y Horner (1933), y más recientemente otros investigadores.

La naturaleza de los cationes de intercambio, tiene la gran influencia en la adsorción de agua. En general, las arcillas saturadas con cationes divalentes poseen mayor poder de adsorción que las saturadas con cationes monovalentes, con la excepción de Ion $Li=1$ que se comporta como los Iones divalentes.

La adsorción del vapor de agua disminuye al aumentar el tamaño del Ion, así en el grupo de los monovalentes como en el de los divalentes. (2)

Estructura:

La estructura del suelo afecta el crecimiento de las plantas debido a su influencia en el aire y agua del suelo. Así -- mismo, perturba el movimiento mecánico de raíces y brotes y -- las relaciones de temperatura en el suelo. (6).

Al considerar la estructura del suelo, debe entenderse -- por partículas no sólo las que forman los separados mecánicos -- como arena, limo y arcillas, sino también los agregados ó elementos estructurales que se han formado y por la agregación de fracciones mecánicas más pequeñas. Las partículas designan -- pues, toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (fracción de arena, limo ó arcilla) ó secundaria (agregado ó tactoide). La estructura del suelo implica un arreglo u ordenación de estas partículas primarias y secundarias en ciertos modelos ó patrones estructurales. Tales patrones incluyen necesariamente el espacio de poros acompañante.

La fase líquida y la fase gaseosa, dependen del volumen y disposición geométrica de los huecos ó vacíos existentes en la matriz sólida del suelo. Esta dependencia, especialmente la de la fase líquida se usa para caracterizar la estructura de -- vacíos que se forma por la fase sólida y el área de las superficies. (2)

La infiltración y la permeabilidad están íntimamente relacionadas con el tamaño de los poros y la estabilidad de las u

nidades estructurales del suelo. En los suelos que tienen --- grietas grandes, la infiltración puede ser alta inicialmente. Sin embargo, la velocidad de la infiltración bajará tan pronto como las grietas grandes se llenen; luego, el suelo se hincha y se puede reducir hasta un valor cercano a cero. Los cambios estructurales que ocurren en el suelo, tienen lugar con la mojadura inicial y pueden manifestarse simultáneamente por un -- hinchamiento rápido de los vacíos del suelo. La velocidad de infiltración constante y relativamente alta que se desarrolla después de un tiempo largo, indica un suelo abierto con poco o ningún cambio en su estructura cuando se moja de manera prolongada.

La fuerza de retención y la facilidad relativa de remoción del agua del suelo en el rango del crecimiento de las plantas, está relacionada con el arreglo de los agregados finos del suelo, llamado microestructura, que se manifiesta en la forma de las curvas de retención de humedad. La estructura más deseable es aquella en la que las cantidades casi iguales de agua se liberan del suelo con disminuciones iguales del potencial (aumento de succión). En tales casos, el trabajo efectuado por -- unidad de agua removida, aumentadas lentamente que en los suelos con una microestructura menos deseable.

En experimentos llevados a cabo por Sharma y Vehare (1968) para estudiar los aspectos de la estructura del suelo, macroestructura y microestructura, en las características de la retención de agua en dos suelos latosólicos, la siguiente consideración es importante en este respecto.

Con base en estos resultados, se concluyó que para fuertes estructuras del suelo, la retención de agua fué influenciada por la macroestructura en el rango de tensión entre 0 y 0.3 Bares, mientras que el efecto de la microestructura se demostró aplicando la tensión superficial, radio de curvatura y relación de presión en fracciones de agregados seleccionados. (6)

Estratificación:

La Estratificación influye marcadamente en el movimiento del agua en el interior y a través del suelo; por lo tanto, tiene influencia en la cantidad de agua retenida en cualquiera de las capas del suelo en cualquier momento dado. Si en el perfil del suelo existe una capa impermeable, el potencial de agua y el contenido de humedad, pueden ser más altos (succión más baja) que cuando no hay clase de capa como ésa. Como en suelos finos, una capa arenosa ó de grava pueden tener el mismo efecto. Por lo tanto, las curvas de retención de agua son características del perfil. (6)

Materia Orgánica: ✓

La Materia Orgánica tiene alta capacidad de adsorción de agua. La hidratación de la Materia Orgánica retarda la disponibilidad de agua para la formación de películas alrededor de las partículas del mineral.

En consecuencia, el límite plástico sucede a contenidos de humedad relativamente altos. Sin embargo, después de formadas las películas, casi toda la humedad adicional es empleada en a entrar el espesor de las películas hasta que se produce la

fluencia. La presencia de materia orgánica tiene poco efecto en este tipo de agua y no influye en grado significativo en el índice de plasticidad.

La adición de materia orgánica a los suelos, extiende la zona de friabilidad a contenidos de humedad bastantes elevados. (2)

Temperatura:

Desde hace mucho tiempo, se sabe que el agua se mueve de un suelo caliente a uno frío. Este conocimiento se obtuvo de algunas pruebas de que el potencial de agua es más alto (succión más baja) en suelos fríos. Esto no es necesariamente así porque en un sistema cuya temperatura no está en equilibrio, el calor está fluyendo y no puede llevar agua con él. En tal situación, puede no haber diferencia de potencial del agua en un sistema de suelo que se mantiene a presión, contenido de humedad y composición constantes (Taylor y Stewart, 1960). Las siguientes consideraciones son de importancia a este respecto:

- a) La influencia de la temperatura en el potencial de agua es pequeña en suelos húmedos con potenciales de agua del suelo alto. (succión baja).
- b) La influencia de la temperatura en el potencial de agua aumenta conforme los suelos se tornan más secos, y el potencial de agua se acerca al límite inferior de aprovechabilidad de la planta.
- c) Cualquier medición del potencial de agua que no tenga en cuenta el efecto de la temperatura, puede estar equivocada.

d) La influencia de la temperatura es distinta en diferentes contenidos de humedad. Por lo tanto, se requiere calibrar cada suelo a diferentes contenidos de humedad.

(6)

s Solutos:

Desde hace mucho tiempo, se sabe que los solutos disueltos influyen en la velocidad de la absorción y en la cantidad de agua que las plantas absorben. Ello se ha atribuido generalmente a su efecto en la reducción del potencial de agua. Sin embargo, por estudios recientes sabemos que tanto los sólidos como el agua pueden ser absorbidos con la velocidad relativa de la absorción, en lugar de ser una influencia directa en el potencial del agua.

Si tenemos una membrana semipermeable ideal (que deje pasar agua sin solutos) que separe agua pura del agua de la solución, el agua se moverá del lado en donde está el agua pura -- hacia el lado con solutos. Si además el sistema está sellado y la membrana es rígida, se desarrollará una diferencia en la concentración de solutos, esta diferencia de presión se llama Presión Osmótica.

Si hay ausencia de esa membrana, no habrá diferencia de presión además la cantidad de trabajo necesario para remover una unidad de agua pura de un sistema, aumenta debido a los solutos. La cantidad real de este trabajo adicional, está expresada por la disminución del potencial de agua. Una unidad de diferencia en concentración de cada clase de soluto, influye en el potencial en forma distinta. El efecto neto de todos los solutos se obtiene sumando los efectos de cada uno de ellos ,-

para obtener el potencial total o neto Osmótico, ó de Solutos.

Espe^sor de la Película de Agua:

En los sistemas de suelos, las fuerzas de absorción de la superficie del suelo, y la tensión interfacial de los capilares retienen el agua. Cuando los contenidos de humedad son bajos, predominan las fuerzas de absorción. A decir verdad, ellas pueden ser efectivas aún en la región capilar, como resultado de la interacción con los Iones ^a ~~absorbidos~~ ¹ en la superficie de el-suelo, Schofield (1935), encontró que el potencial de agua era perceptible diferente de cero a distancias mayores de 200 milimicrones, con superficies de vidrio y mica. Este espesor representa unas 670 capas moleculares de agua con un diámetro de - - tres angstrons.

Los diversos minerales del suelo, tienen diferentes ¹ 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 las superficies 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. Por otra parte, debería haber mucho menos variación en el espesor de las películas de agua entre los suelos, - que en el contenido total de agua. Se deberían considerar el uso de una superficie específica para reducir la variación en las relaciones de retención de agua, y producir así curvas similares. (6)

Peso Específico Aparente:

El Peso Específico Aparente es la razón de la masa del -- suelo al volúmen total. Este Peso se expresa en gramos por -- centímetro cúbico (g/cm^3) ó en libras por pié cúbico. La med~~id~~idción requiere la toma de núcleos del suelo ó de terrones en su estructura natural. Sin embargo, los Ingenieros suelen pesar el suelo extraído por excavación de un volúmen medido con la radiación gama In Situ.

La Técnica del Núcleo. La obtención de núcleos de mues - tras, es relativamente fácil cuando en el suelo no hay raíces - ni piedras. El instrumento extractor de núcleos se hincan en el suelo hasta la profundidad deseada y luego es retirado. Como se conoce el volúmen de la muestra, es fácil obtener la densidad en masa y la capacidad de aire y de agua del núcleo para - cualquier contenido de humedad deseado. Muchos instrumentos - saca-núcleos están provistos de un estuche de latón ó celuloi - de que sostiene el núcleo y permite el fácil manejo de la mez - cla durante el humedecimiento y la pesada.

El Peso Específico Aparente, indica la cantidad de mate - rial sólido en un volúmen aparente de suelo; por lo tanto, cons - tituye una variable de composición.

En los resultados de Box y Taylor, (1961) con suelos de -- Millville, se nota que un aumento de Peso Específico Aparente - de 1.10 a 1.35 G/cm^3 dió resultado a un aumento de potencial - de agua de -27 a -23 julios/Kg en un suelo franco limoso con - un contenido de agua del 23% y de -46 a -41 julios/Kg con un - contenido de agua de 17.5% (6)

Factores en Forma de Potencial

El Potencial Total se puede dividir en partes, la suma -- de las cuáles equivalen a él en forma siguiente:

$$P_t = Z + M + O$$

dónde:

P_t = Potencial Total

Z = Potencial Gravitacional, debido a la - fuerza de gravedad.

M = Potencial Mátrico debido a la presencia de la fase sólida (matriz) del suelo. Se compone de los efectos debidos a las - fuerzas de cohesión y adhesión, y a la fuerza osmótica por los iones adsorbidos. Se le llama también "Potencial Capilar".

O = Potencial Osmótico debido a la presencia de solutos en el agua del suelo. (16)

Potencial Matricial:

Potencial Matricial ó Potencial de la matriz del suelo, es la cantidad de trabajo que debe efectuarse por cantidad unitaria de agua para transportar de modo reversible e isométrico + una cantidad infinitesimal de agua, desde un depósito que contiene una solución de composición idéntica a la del agua del - suelo, con la altura y la presión gaseosa externa del punto -- considerado hasta el agua del suelo (International Society of Soil Science Commission I, 1963). De esta definición se infiere que los potenciales matriciales son negativos, puesto que el agua desde el depósito de referencia fluiría fácilmente al suelo seco con liberación de energía en forma de calor. Esto significa que se produciría trabajo en la mojadura en vez de necesitarse trabajo conforme a la presente definición. El Poten---

cial matricial del agua por encima del nivel del agua subterránea es negativo, y por debajo de un nivel de agua libre se vuelve igual a cero.

El potencial Matricial está asociado con la atracción de agua por superficie sólida y con la atracción mutua de las moléculas de agua; comprende las fuerzas no equilibradas en la interfase aire-agua que dan origen a la tensión superficial. Este potencial ha sido citado como del antiguo potencial de los capilares por cuanto es análogo en buena porción de su intervalo de valores a la situación que existe, cuando el agua asciende en tubos capilares. Sin embargo, los fenómenos que envuelve la expresión potencial matricial, se extienden más allá de los asociados con la interfase aire-agua de los pequeños poros. Al disminuir la cantidad de agua en un matricial poroso, el agua contenida en los poros con interfase aire-agua claramente negativa, como en el ascenso capilar, es indispensable en comparación con la retenida por la superficie de las partículas. Por consiguiente, la expresión Potencial Matricial cubre otros fenómenos además de aquellos en los que es apropiada la analogía con el potencial de los capilares. (2)

Potencial Gravitatorio:

Potencial Gravitatorio ó Potencial de Gravedad, es la cantidad de trabajo que debe efectuarse por cantidad unitaria de agua pura para transportar de modo reversible e isométrico, una cantidad infinitesimal de agua desde un depósito que contiene una solución de composición idéntica a la del agua del suelo

a una altura especificada del punto considerado (I.S. .S.COM--
.ISION I, 1963). La altura elegida como referencia, determi--
na el carácter negativo ó positivo de los potenciales de gra--
vedad Si el depósito de referencia está en nivel inferior al
un o en cuestión, hay que producir trabajo en el agua y el --
potencial de gravedad es positivo. Si el depósito está más e--
levado, el trabajo es generado por el agua y el potencial Gra-
vitorio es negativo. Si el depósito está más bajo que el --
punto en cuestión, como el nivel de agua freática y el agua --
tiene movimiento libre, el potencial de gravedad y el poten--
cial matricial serán iguales, y de signos opuestos en el equili-
brio y la suma de ellos será cero. Esta es una condición para
el equilibrio. Tal sistema si es bastante alto para cubrir el
intervalo que interesa, puede servir para determinar la rela--
ción entre la cantidad de agua y el potencial de agua en condi-
ciones de sorción y desorción. Esto es debido al hecho de que
el potencial de gravedad, que puede medirse con una regla, es-
igual y de signo contrario al potencial matricial; por consi---
guiente, la columna puede seccionarse y se puede determinar el
contenido de agua. El intervalo puede extenderse considerable-
mente por medio de una centrífuga y entonces la aceleración --
centrípeta reemplazará a la aceleración de la gravedad en las-
ecua ones usadas. (2)

P ial Osmótico: ✓

El Potencial Osmótico, es la cantidad de trabajo que debe
efectuarse por cantidad unitaria de agua pura para transportar
e m o reversible e isométrico, una cantidad infinitesimal de

agua desde un depósito de agua pura de altura especificada y a la presión atmosférica hasta un depósito que contiene una solución idéntica en composición al agua del suelo (en el punto considerado) y que en los demás respectos es idéntica al depósito de referencia. El potencial Osmótico, resulta de la hidratación de Iones en la solución del suelo. El carácter polar del agua, con dos sitios electropositivos y dos electronegativos, hace que las moléculas de agua sean atraídas por los Iones de la solución del suelo. Un polo negativo de la molécula es atraído por los Iones positivos, y los polos positivos del agua (protones de hidrógeno) son atraídos por iones negativos. Estas fuerzas de atracción, orientan el agua en torno de los iones y el potencial Osmótico es el trabajo requerido para separar el agua de estos Iones.

Las fuerzas osmóticas son importantes en el estudio de los suelos y de las plantas, y pueden observarse de otro modo. La mayoría de las sustancias disueltas en el agua del suelo y en los tejidos de las plantas, no son volátiles a las temperaturas ordinarias y quedan como residuo al evaporarse el agua. Para eliminar el agua de una solución que contiene solutos, es preciso suministrar mayor cantidad de energía que para eliminar el agua pura. La interfase aire-solución obra como una membrana y la presión de vapor en el aire circundante en equilibrio es reducida proporcionalmente a semejanza de la diferencia de la presión creada a través de una membrana en una solución. Por consiguiente, existen fuerzas osmóticas siempre que un líquido y una fase aérea interactúan, aún en ausencia de la

membrana.

Las partículas de arcilla suspendidas en la solución,-----
causan el mismo fenómeno en virtud de la atracción que la arcilla ejerce sobre el agua, podría discutirse si el fenómeno es un fenómeno osmótico, por comportarse la partícula como un Ion o si es un efecto matricial porque obedece a fuerzas atractivas de una partícula sólida. Aquí lo consideramos como efecto matricial.

El Potencial Osmótico, se comporta como los potenciales - antes descritos dondequiera que exista una membrana o una situación semejante a la acción de una membrana y puede ser sumado a los otros potenciales para formar el potencial total. Sin embargo, si falta la membrana los iones solubles se difunden espontáneamente en la solución del suelo en virtud de la energía cinética que poseen. En tales condiciones, el potencial Osmótico no puede ser compensado por ninguno de los otros potenciales y no se le puede tratar como potencial de igual modo. - El flujo neto de agua, en respuesta a una diferencia matricial de un punto a otro, puede tener dirección contraria al flujo de agua producido por un gradiente de potencial Osmótico. En tales condiciones, los efectos osmóticos a veces son mejor manejados mediante conceptos similares a los aplicados al movimiento de agua bajo un gradiente de temperatura. (2)

La expresión del estado del agua en el suelo en base a su potencial total ó nivel de energía es la más lógica, debido a que ese trabajo será el necesario para que la planta extraiga esa agua del suelo. Por otro lado, dicho nivel de energía al-

combinar todas las fuerzas a que está sometida el agua del suelo, sin hacer distinción entre ellos, simplifica mucho el trabajo de su medida. Además, el nivel de energía del agua en el suelo es una fuerza escalar (sin dirección) por lo que puede obtenerse por suma aritmética de los potenciales particulares, -- sin considerar su dirección.

Los potenciales especificados con anterioridad, se pueden agrupar en la siguiente forma:

$M + O$ = Potencial responsable de la fuerza de succión que tienen que ejercer las plantas para extraer el agua del suelo.

$Z + M$ = Potencial hidráulico, que determina el flujo del agua en el suelo.

Todos los potenciales mencionados se expresan en ergios/gramo, pero debido a que suelen obtenerse valores demasiado altos, se ha tomado la medida de expresarlos en su equivalente en presión (potencial por unidad de volúmen), con lo que suelen encontrarse presiones negativas. Por ellos, se usan más los terminos succión ó tensión, que no son otra cosa que la expresión con signo positivo de los potenciales negativos. Así cuando hablamos de "tensión" de la humedad del suelo, nos referimos al potencial mátrico expresado en unidades de presión cambiando el signo. La correspondencia entre las diferentes unidades es:

Longitud de Columna de agua en cm.	Succión Atmósferas Bares	Potencial Capilar ó Energía Libre.
h	$h/1035$	$h/1022$
		erg/gr ó erg/cc pF -980
		log h

Influencia del Drenaje

La determinación práctica de la Capacidad de Campo se suele efectuar dos días después del riego. En consecuencia, la Capacidad de Campo determina un punto específico de la curva del contenido de humedad con relación al tiempo. El hecho de especificar el tiempo de medición, permite igualmente calcular el agua utilizada por las plantas durante el período en el cuál el agua está drenando. (9)

Las observaciones experimentales de laboratorio y de campo revelan que los perfiles homogéneos de suelo mojados a una profundidad suficiente, tienden a ser drenados a un contenido de agua uniforme. Si no hay evaporación en la superficie del terreno, entonces la intensidad de flujo descendente del agua a una profundidad "L" es dada por la ecuación:

$$q = \frac{dw}{dt} = -k \frac{dh}{dz} \quad (1)$$

dónde "w" es el contenido de agua entre $z=0$ y $z=L$, "k" es la conductividad no saturada en $z=L$ y dh/dz es el gradiente hidráulico en $z=L$. Si el gradiente del contenido de agua puede suponerse despreciable, $dh/dz=1$ y la ecuación No. 1 se reduce a:

$$\frac{dw}{dt} = -k \quad (2)$$

La ecuación No. 2 se presta fácilmente a la determinación de la conductividad no saturada del campo (Ogata y Richards, 1957) (Rose, Stern y Drummond, 1965). En este procedimiento el perfil del suelo se humedece hasta una profundidad de 60 a 90 cms. cubiertos para evitar la evaporación, y se mide el drenaje. El contenido de agua se mide en función del tiempo,-

y la carga hidraulica se determina con el tensiómetro. Los datos del tensiómetro, también sirven para calcular la difusividad directamente en el mismo experimento (Gradner, 1970), si el contenido de agua por encima de $z=L$ es uniforme, entonces $dw/dt = L dh/dt$, introduciendo esta expresión en la ecuación No. 2 y recordando la definición de la difusividad, se tiene:

(16)

$$D = L \left(\frac{d\theta}{dt} \right) \left(\frac{dh}{dz} \right) \quad (3)$$

Aplicaciones del Concepto de Capacidad de Campo

Si se relacionan en un gráfico los contenidos de humedad después de aplicadas cada una de las tensiones ó succiones, - con dichas fuerzas se obtiene la llamada curva de retención de humedad, ó curva de pF , característica del suelo estudiado.

Dichas curvas se consideran la contribución más valiosa de la ciencia para llegar a un sistema más racional de aplicación de agua a los cultivos, ya que son básicos para:

- a) Recomendaciones de riego.
 - b) Cálculo de conductividad capilar.
 - c) Cálculo de distribución de tamaños de poros, (en suelos de textura gruesa).
 - d) Clasificación de la humedad de los suelos.
 - e) Control de los cambios en la estructura de los suelos.
- (16).

Métodos

La tensión de humedad de un suelo que ha alcanzado la capacidad de campo, suele estar comprendida entre $1/10$ y $1/3$ de atmósfera, dependiendo el valor de las características de drena

je del terreno y el lapso de tiempo transcurrido después del riego que se considera necesario para que el suelo alcance la capacidad de campo. La tensión de humedad de los suelos arenosos, cuando se encuentran en la capacidad de campo, tiende a ser $1/3$ de atmósfera e incluso algunos han llegado hasta $3/5$ de atmósfera. Para la mayoría de los terrenos agrícolas, los valores de la tensión se encuentran en las proximidades de $1/10$ de atmósfera, más bien que en torno de $1/3$ de atmósfera para valores de capacidad de campo calculados mediante la determinación del contenido de humedad. El gran intervalo que existe en lo que respecta al contenido de humedad y el volumen de agua del suelo, entre $1/3$ y $1/10$ de atmósfera, señala la necesidad de definir con precisión la tensión a la cuál se dá la capacidad de campo. El hecho de admitir que la tensión es $1/3$ de atmósfera en lugar de la real que pudiera ser $1/10$, conduce a un error de consideración a la hora de estimar el volumen de agua de disposición de las plantas después del riego. (9)

Se han hecho muchos trabajos para relacionar la capacidad de humedad del campo con la retención de agua a un potencial matricial dado, a menudo con el porcentaje de humedad correspondiente a $1/3$ de Bar, el equivalente de humedad retenida por un suelo de un c. de profundidad cuando se le somete a una fuerza centrífuga igual a mil veces la gravedad (succión equivalente aproximadamente a 0.98 Bars.)

El Potencial Matricial se mide equilibrando el peso de la columna de agua (ó de agua y mercurio) contra las fuerzas de atracción del suelo a través de una membrana cerámica porosa

En los poros llenos de agua de la cerámica, se crea una presión negativa ó tensión positiva por medio de la columna líquida pendiente ó manómetro, debe usarse una membrana cerámica de poros bastante pequeños para que retengan el agua en las presiones negativas producidas.

Grandes poros llenos de aire en el suelo ó en la membrana cerámica, no permiten la producción de presión negativa necesaria para equilibrar la que existe en los poros del suelo llenos de líquido. La presión de agua en el manómetro se equilibra con el suelo adyacente por el movimiento del agua a través de la membrana cerámica; la altura de la columna líquida en el equilibrio, es un índice del potencial matricial. La fuerza por unidad de área ó presión negativa del agua en la membrana porosa, es el peso por unidad de sección transversal de la columna líquida pendiente. Este peso se obtiene dividiendo el volumen de la columna entre el área de la sección y multiplicando por la densidad y por la aceleración de la gravedad.

$$G = \frac{mg}{A} = V \times P_w \frac{X_g}{A} = \frac{hAP_w g}{A} = hp_w g \quad (4)$$

En dónde P_w es la densidad del agua y el potencial está en unidades de energía por unidad de volumen. Esta expresión se convierte en esta otra:

$$hP_w g \times \frac{V}{\text{masa}} = \frac{hp_w g}{P_w} = hg \quad (5)$$

El límite práctico del tensiómetro de la Fig. No. 1 es un potencial de -0.85 de Bares aproximadamente (ó tensión de 0.85 Bares) a causa del problema de cavitación por salida de aire de la solución ó de las paredes de la tubería empleada. Sin embargo

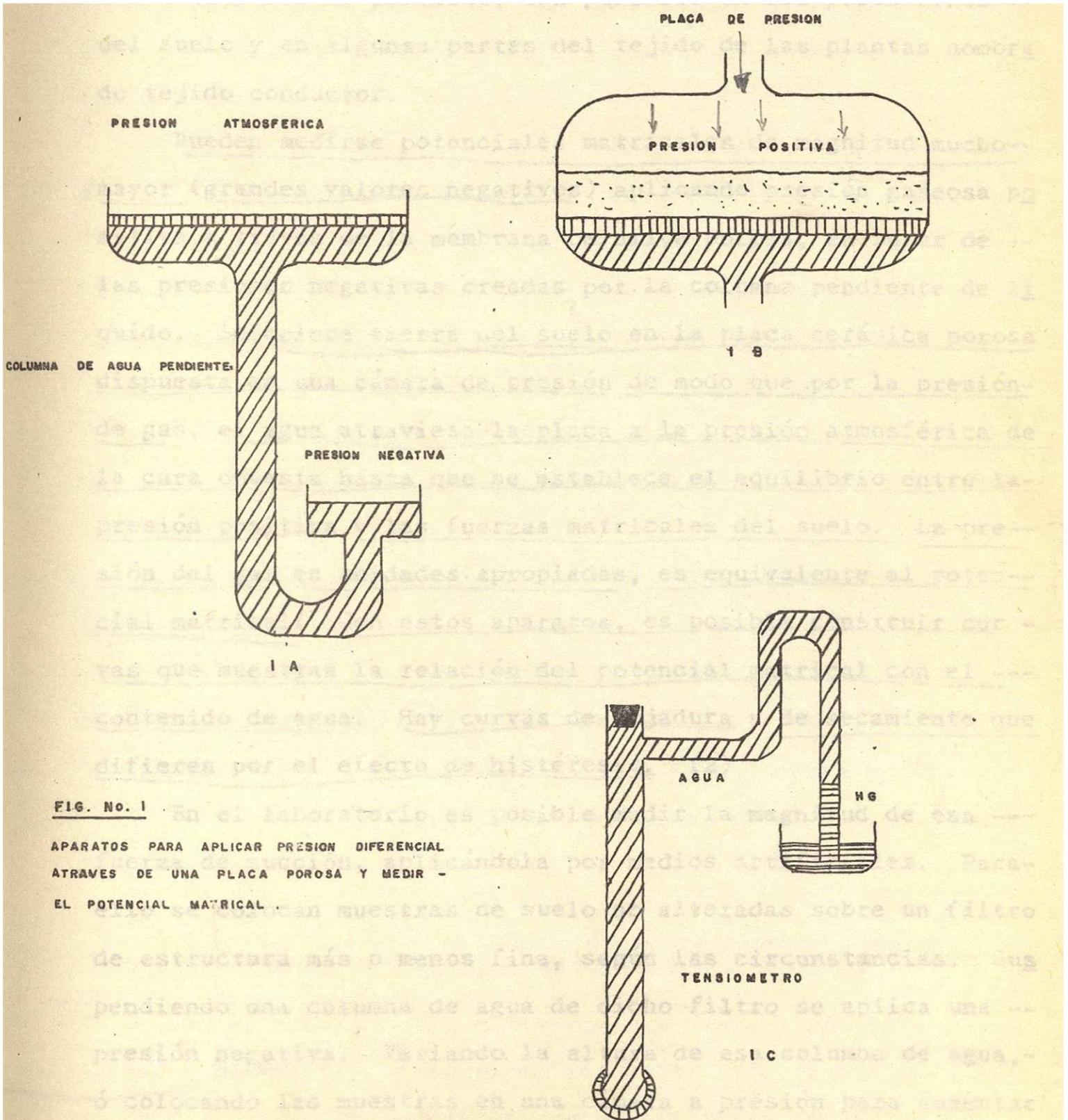


FIG. No. 1

APARATOS PARA APLICAR PRESION DIFERENCIAL
 ATRAVES DE UNA PLACA POROSA Y MEDIR -
 EL POTENCIAL MATRICAL

A LA DERECHA UN TENSIOMETRO QUE FUNCIONA SEGUN EL MISMO PRINCIPIO Y QUE PUEDE USARSE EN EL CAMPO

go, tensiones o presiones negativas que exceden considerablemente este límite práctico, son posibles en los poros finos del suelo y en algunas partes del tejido de las plantas nombrado tejido conductor.

Pueden medirse potenciales matriciales de magnitud mucho mayor (grandes valores negativos) aplicando presión gaseosa positiva a través de la membrana cerámica porosa, en lugar de las presiones negativas creadas por la columna pendiente de líquido. Se coloca tierra del suelo en la placa cerámica porosa dispuesta en una cámara de presión de modo que por la presión de gas, el agua atraviesa la placa a la presión atmosférica de la cara opuesta hasta que se establece el equilibrio entre la presión positiva y las fuerzas matriciales del suelo. La presión del gas en unidades apropiadas, es equivalente al potencial matricial. Con estos aparatos, es posible construir curvas que muestran la relación del potencial matricial con el contenido de agua. Hay curvas de mojadura y de secamiento que difieren por el efecto de histéresis. (2)

En el laboratorio es posible medir la magnitud de esa fuerza de succión, aplicándola por medios artificiales. Paralelo se colocan muestras de suelo no alteradas sobre un filtro de estructura más o menos fina, según las circunstancias. Suspendiendo una columna de agua de dicho filtro se aplica una presión negativa. Variando la altura de esa columna de agua, ó colocando las muestras en una cámara a presión para aumentar la diferencia en tensión entre las superficies superior e inferior de la muestra, se varían las succiones aplicadas.

Estas fuerzas de succión extraen una cantidad de agua restante en equilibrios con la succión aplicada. Por ello, la tensión-aplicada representa el potencial mátrico del agua que queda retenida. (2)

Donde se presentan mayores dificultades es en la determinación de contenidos de humedad a tensiones inferiores a 1/10 de atmósfera (100 cm. de columna de agua), para lo cuál suelen usarse columnas de agua de diferentes alturas suspendidas del filtro sobre el cuál se colocan las muestras. Estas determinaciones tienen gran importancia, ya que a esas tensiones es -- fundamental la influencia de la estructuración natural del suelo, principal responsable en suelos de textura media a fina de la llamada porosidad no capilar. Dicha porosidad la constituyen según la opinión generalizada, los poros de radio equivalente superior a 15 micras, o sea los que pierden el agua aplicando una succión con una columna de ella de 100 cms. calculando según la ecuación de ascenso capilar $h = 2T / rdg = 0,15 / r$ donde "T" es la tensión superficial del agua "r" el radio equivalente de los poros "d" la densidad del agua, y "g" la aceleración de gravedad.

Descripción y Discusión sobre algunos Procedimientos y Equipos previamente utilizados.

Como se especificaba anteriormente, la estructura ó agrupación y disposición natural de las partículas de suelo en el campo tiene una influencia fundamental (especialmente en los suelos de textura media a fina) sobre el contenido de humedad a tensiones menores a 1/10 de atmósfera, y por ello sobre la proporción de poros llamados no capilares en el suelo. Debi-

do a ésto es fundamental el uso de muestras no alteradas (obtenidas y conservadas en las mismas condiciones de campo), para cuya obtención deben usarse los procedimientos y equipos adecuados. Más adelante se especifica el equipo recomendado para obtener muestras adecuadas al procedimiento recomendado.

Una vez obtenidas las muestras, las cuáles deben provenir de las capas con diferentes propiedades hidrológicas, de diferentes perfiles que representen los diferentes tipos de suelo en el área estudiada, deben transportarse al laboratorio en recipientes y condiciones adecuadas para que no sufran la menor alteración.

El primer paso en el laboratorio, es saturar dichas muestras para partir de tensión cero e ir aplicando sucesivamente succiones mayores a cada una de las cuáles se determina el contenido de humedad retenido. Para aplicar dichas succiones como ya se decía antes, se usan columnas de agua suspendidas de un filtro sobre el que se colocan las muestras. Dicho filtro debe poseer unos poros de tamaño tal que permanezcan llenos con agua a la succión aplicada a fin de mantener la continuidad de la columna de agua a través de ellos hasta el suelo, lo cuál no ocurriría si algunos de ellos perdieran el agua y se llenaran con aire. Dicha columna de agua debe mantenerse el tiempo necesario para que se establezca el equilibrio entre la tensión del agua que quede retenida en el suelo, y la succión aplicada.

Procedimiento I :

El Método más sencillo, consiste en colocar las muestras en un embudo Buchner con papel filtro y suspender una columna de agua en un tubo de goma ó plástico conectado a aquél, y que-

termina sumergido en un recipiente con agua (Figura No. 2) Este procedimiento presenta los siguientes inconvenientes:

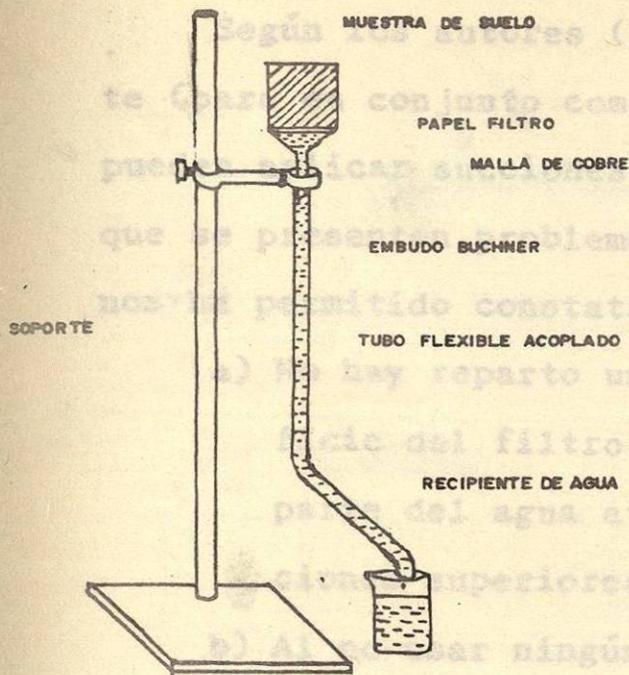
- a) Cada muestra necesita un equipo y montaje independiente lo que hace la determinación engorrosa y larga cuando es necesario trabajar muchas muestras.
- b) Las columnas de agua superiores a 10 ó 40 cms. (dependiendo del filtro usado) no se mantienen el tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio entre la tensión de el agua en el suelo y la succión aplicada, debido a la penetración de aire en dicha columna a través del filtro. Esto hace que se obtengan resultados erróneos.

Procedimiento II :

Este procedimiento hace uso del aparejo ideado y descrito por Ross W. Leamre y Byron Shaw (12) que aparece en la Figura No. 3. A este aparejo se le ha solido llamar posteriormente -- "Mesa de Tensión".

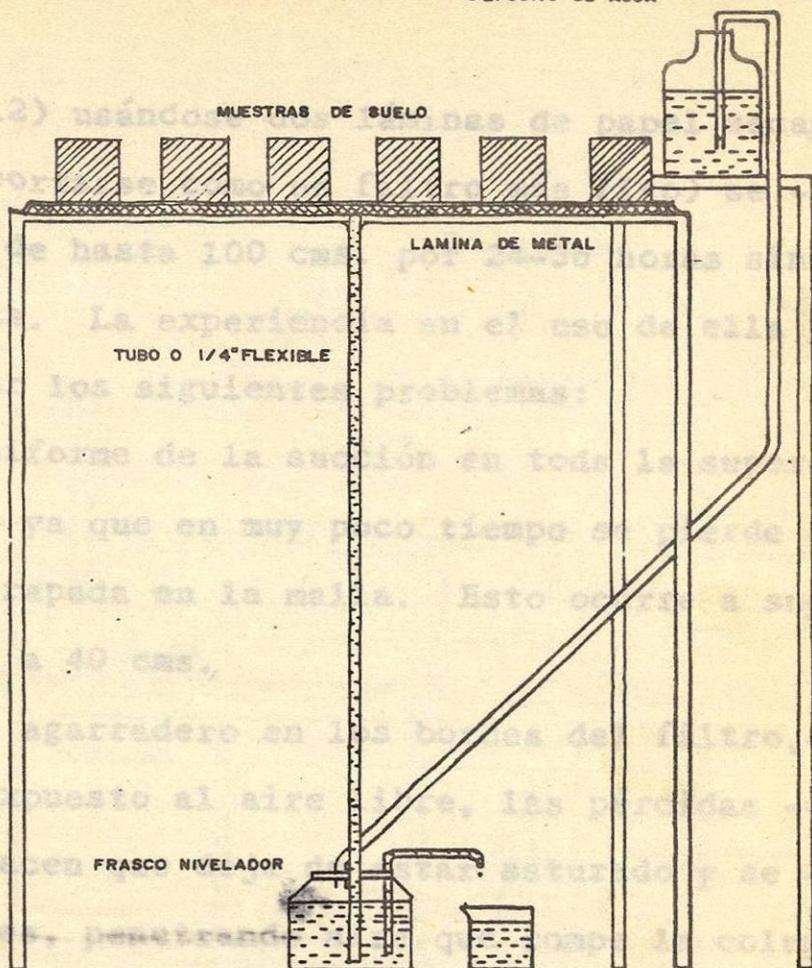
Como se puede apreciar en la Figura No. 3, el aparejo consiste de una base con un hueco en la parte central, al cuál vá acoplado un tubo de goma ó plástico. Sobre dicha base vá colocada una malla de cobre con huecos de 2 mm. y una ó dos láminas de papel secante corriente. El tubo que sale de la base es el que mantiene la columna de agua, cuya longitud está controlada por el nivel de agua en un frasco con sifón el cuál puede subirse ó bajarse según la columna deseada. Las pérdidas por evaporación son repuestas mediante la conexión a un depósito de agua.- El filtro sobre el que van colocadas las muestras es el papel secante, usándose la malla para mantener una lámina de agua debajo del filtro y con ello repartirse la succión por igual a lo

largo y ancho de él.



EMBUDO BUCHNER CON FILTRO Y COLUMNA DE AGUA SUSPENDIDA.

FIG. No. 2.



MESA DE TENSION IDEADA POR R. W. LEAMER Y B. A. SHAW.

FIG. No. 3.

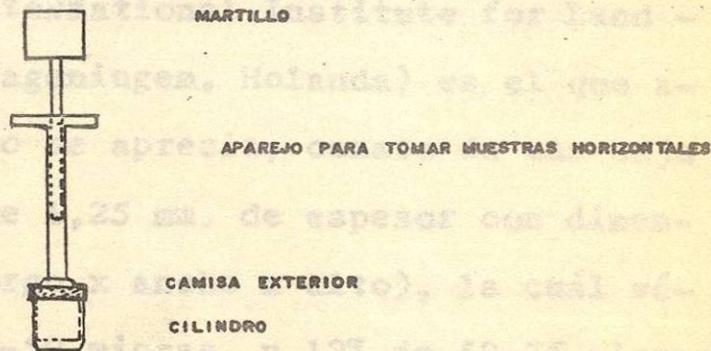
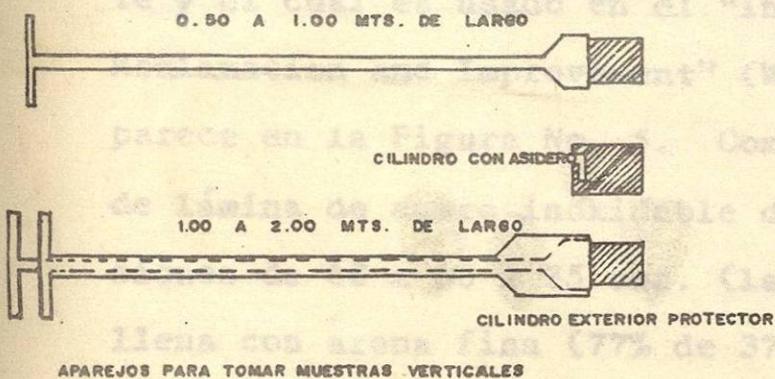


FIG. No. 4. TOMA MUESTRAS PARA OBTENER CILINDRO DE MUESTRAS NO ALTERADAS DE 5 CMS DE DIAMETRO Y 5 CMS. DE ALTURA

largo y ancho de él.

Según los autores (12) usándose dos láminas de papel secante (para en conjunto comportarse como un filtro más fino) se pueden aplicar succiones de hasta 100 cms. por 24-36 horas sin que se presenten problemas. La experiencia en el uso de ella nos ha permitido constatar los siguientes problemas:

- a) No hay reparto uniforme de la succión en toda la superficie del filtro, ya que en muy poco tiempo se pierde parte del agua atrapada en la malla. Esto ocurre a succiones superiores a 40 cms.
- b) Al no usar ningún agarradero en los bordes del filtro, y al estar éste expuesto al aire libre, las pérdidas por evaporación hacen que deje de estar saturado y se levanten los bordes, penetrando aire que rompe la columna de agua antes de alcanzar el equilibrio.

Procedimiento III :

Otro aparejo (24 y 25) desarrollado mucho más recientemente y el cuál es usado en el "International Institute for Land Reclamation and Improvement" (Wageningen, Holanda) es el que aparece en la Figura No. 5. Como se aprecia, consta de una caja de lámina de acero inoxidable de 1,25 mm. de espesor con dimensiones de 60 x 30 x 35 cms. (largo x ancho x alto), la cuál vá llena con arena fina (77% de 37-50 micras, y 12% de 50-75 micras con poros que se vacíen a 150 cms. de succión). La superficie de la arena se cubre con una tela de nylon. El drenaje de la caja de arena se hace mediante un armazón de tubos de polivinilico ranuras y envueltos con tela hidrofílica de nylon. La cámara está conectada con una botella niveladora a una

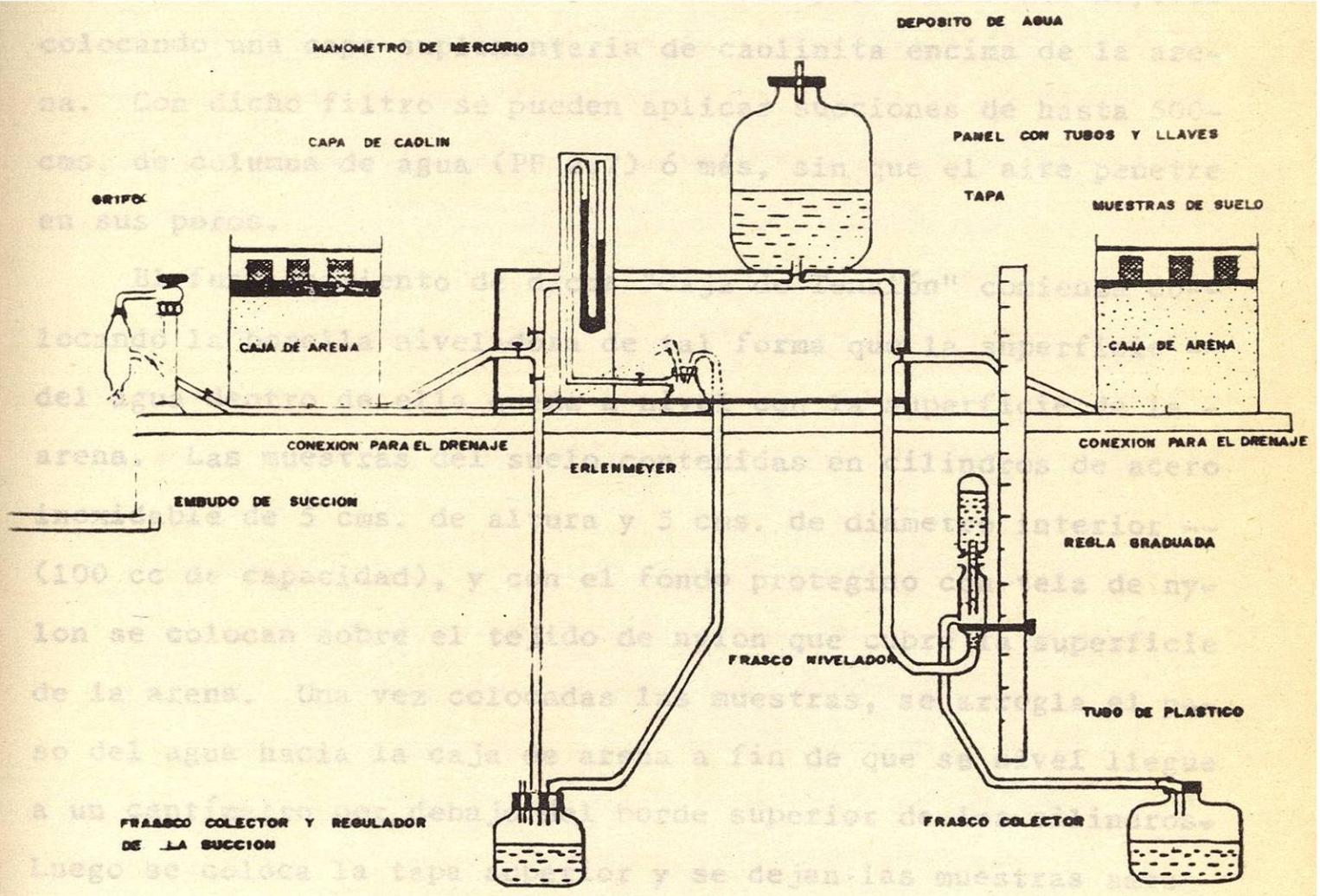


FIG. No. 5.

"CAJA DE TENSION"

UTILIZADA EN EL "INTERNATIONAL INSTITUTE FOR LAND AND WATER MANAGEMENT RESEARCH", WAGENINGEN.

ro de una escala graduada, la cuál permite aplicar tensiones de hasta 100 cms. de columna de agua (PF 2,0) ó algo más.

La misma caja de arena puede usarse para tensiones mayores colocando una capa suplementaria de caolinita encima de la arena. Con dicho filtro se pueden aplicar succiones de hasta 50 cms de columna de agua (PF 2,7) ó mas, sin que el aire penetre en sus poros.

El funcionamiento de dicha "Caja de Tensión" comienza colocando la b tella niveladora de tal forma que la superficie del agua dentro de ella queda a nivel con la superficie de la arena. Las muestras del suelo contenidas en cilindros de acero inoxidable de 5 cms de altura y 5 cms. de diámetro interior (100 cc de capacidad), y con el fondo protegido con tela de nylon se coloca sobre el tejido de nylon que cubre la superficie de la arena. Una vez colocadas las muestras, se arregla el paso del agua hacia la caja de arena a fin de que se nivel ll gue a un centí metro por debajo del borde superior de los cilindros. Luego se coloca la tapa superior y se dejan las muestras saturando por 1-3 días, según el tipo de suelo y la humedad inicial.

Habiéndose llegado a la saturación de las muestras, se ajusta el nivel del agua a la superficie de la arena o borde inferior de los cilindros, con lo que se obtiene una succión de 2,5 cms. de columna de agua (PF 0,4) la que se deja aplicando durante unas doce horas, transcurridas las mismas, se pesan los cilindros y se vuelven a colocar en la caja, ajustando el nivel del agua a 10 cms. por debajo de la parte central de los cilindros ó sea 7,5 cms. por debajo de su fondo. El equilibrio se alcanza a los 3 7 días según el tipo de suelo, necesitándose

aún más días para suelos pesados. Esto puede repetirse aplicando diferentes succiones hasta 100 cms. de columna de agua. Si se coloca el filtro de caolinita pueden aplicarse succiones de hasta 200-500 cms. de columna de agua mediante la conexión a un embudo de succión (ver Figura No. 5) a través de un manómetro de mercurio. En este caso, no alcanza el equilibrio sino a los 6-14 días.

Aunque con este aparejo trabajando con mucho cuidado se -- obtienen resultados muy precisos, presenta los siguientes inconvenientes:

- a) La falta de simplicidad en la construcción y manejo del aparejo.
- b) Debido a lo prolongado del tiempo necesario para alcanzar el equilibrio, hay que realizar varias pesadas antes de estar seguros que se ha alcanzado.

Todo ello retrasa mucho las determinaciones, dá más trabajo y exige un control estricto para evitar las pérdidas por evaporación.

Variantes Recomendadas:

En vista de los problemas encontrados en los métodos anteriores, se probaron algunas variantes habiéndose obtenido hasta la fecha buenos resultados con las que proponen a continuación:

Con respecto a la toma de muestras, se ha encontrado muy-- apropiado y manejable el uso de cilindros de 5 cms. de altura y 5 cms. de diámetro interno (100 c.c. de volumen). Para la obtención en el campo de dichos cilindros de suelo, se pueden usar diferentes toma-muestras, como los aparecidos en la Figura No. 4 resultando muy apropiado la reducción de toma-muestras tipo Uh-

land, adaptada para tomar muestras de esas dimensiones. Una -- vez se han delimitado las capas de suelo con diferentes propiedades hidrológicas en el perfil, se hace un escalonamiento que permita hundir el toma-muestras en cada una de ellas, De esta forma, se toman muestras en sentido vertical; si se quieren tomar muestras en sentido horizontal, se pueden usar un mazo ó -- un "gato" que apoye en la pared opuesta de la calicata, usando el equipo que aparece en la Figura No. 4.

Se toman dos o tres cilindros en cada capa, se alisan los extremos con una espátula procurando no alterar la configuración natural y se colocan en una caja de madera con huecos recubiertos de goma donde quedan acoplados los cilindros y protegidos contra alteraciones y pérdidas apreciables de humedad. Hecho -- ésto, se llevan al laboratorio donde se hacen las determinaciones en el tipo de "Mesa de Tensión" Figura No. 6

Ventajas Encontradas :

a) Sencillez de materiales y facilidad y economía de construcción.

b) Permite la determinación en muchas muestras a la vez -- con un manejo muy fácil.

c) Se alcanza el equilibrio con relativa rapidez.

d) Permite aplicar succiones de hasta 100 cms. de columna de agua, sin roturas frecuentes de ella si se trabaja con el -- debido cuidado. Para ello es bueno saturar otra vez la arena y filtro antes de aplicar esta última succión de 100 cms. Con ello asegurará que no hallan roturas en 48 horas.

Muchos consideran que el contenido de humedad a tensión --

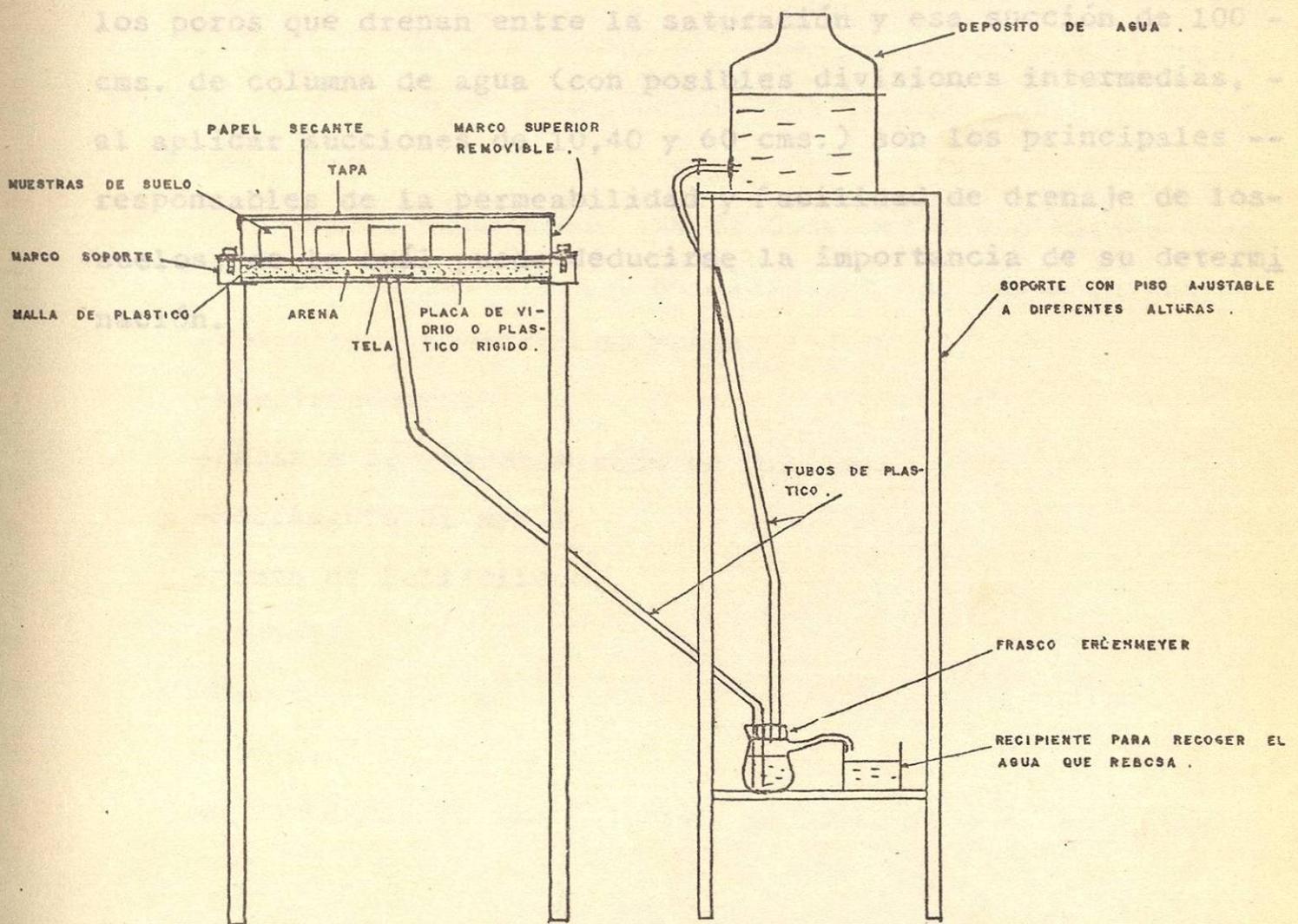


FIG. No. 6 MESA DE TENSION. MODELO PROPUESTO POR EL ING. PLA SENTIS.

ESCALA 1:10

equivalente a 100 cms. de columna de agua en muestras no alteradas, se corresponde con la capacidad de campo ó límite superior de la capacidad de agua aprovechable de los suelos, constante de humedad que es indispensable conocer para el manejo racional del riego.

Por otro lado, como ya se decía antes, se considera que -- los poros que drenan entre la saturación y esa succión de 100 cms. de columna de agua (con posibles divisiones intermedias, -- al aplicar succiones de 10,40 y 60 cms.) son los principales -- responsables de la permeabilidad y facilidad de drenaje de los suelos, de lo cuál puede deducirse la importancia de su determinación.

MATERIALES Y METODOS

El experimento fué llevado a cabo en el Campo Agrícola -- Experimental (Ex-Hacienda del Canadá, Municipio de Gral. Escobedo, N L.) y en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de -- Agronomía, U.A.N.L.

El experimento consistió en la determinación de la Cons-- tante Hídrica llamada Capacidad de Campo, usándose para todos-- los diferentes Métodos usados un mismo perfil de suelo, mues-- treando para su mejor comparación cada 10 cms. hasta la profun-- didad de 2 Mts.

El primer método usado fué el Gravimétrico ó Método Direc-- to (15) y los materiales que se utilizaron son los siguientes:

- Cotes para muestras de suelo.
- Muestreadores.
- Balanza con aproximación de 0.1 Grs.
- Rectángulo de metal.
- Manta de Polietileno.
- Cordel.
- Baldes.
- Estufa.

En el Método de las Columnas de Suelo (15) el material -- fué:

- Tapones de hule del No. 55 perforados Con un tubo de vi-- drio de 5 cms. de longitud en perforación y 5 cms. de --- diámetro.
- Cilindro de vidrio de 30 cms. de longitud y 2.5 cms. de - diámetro.
- Círculos de papel filtro y malla de alambre de 2.3 de ---

diámetro.

-Palillo de madera de 5 mm. de diámetro y 40 cms. de longitud con punta en un extremo.

-Embudo de vidrio de 10 cms. de diámetro exterior y con tubo de salida de 30 cms. de longitud.

-Estufa.

-Balanza con aproximación de 0.1 Gr.

-Vasos tarados.

En el Método de la Olla de Presion se trabajó con dos presiones, una a 1/10 de atm. y otra a 1/3 de Atm. (22)

Los materiales fueron los mismos y son los siguientes:

-Olla de Presión.

-Tanque de aire comprimido.

-Platos de cerámica.

-Vasos de vidrio.

-Estufa.

-Espátula.

-Balanza con aproximación de 0.1 Gr.

-Anillos de hule de un centímetro de alto por 5 cms. de diámetro.

En el Método de la Mesa de Tensión (Fig. No. 7) se tomó en cuenta las medidas del aparato propuesto por el Ingeniero Pla Sentis (21), y se hicieron modificaciones tomando en cuenta los materiales disponibles.

-Toma-muestras para obtener cilindros de muestras no alteradas (usadas para obtener Peso Específico Aparente).

-Armazón de metal con patas de 1.20 mts. de altura y marco superior adaptado para sostener una placa de fibra de

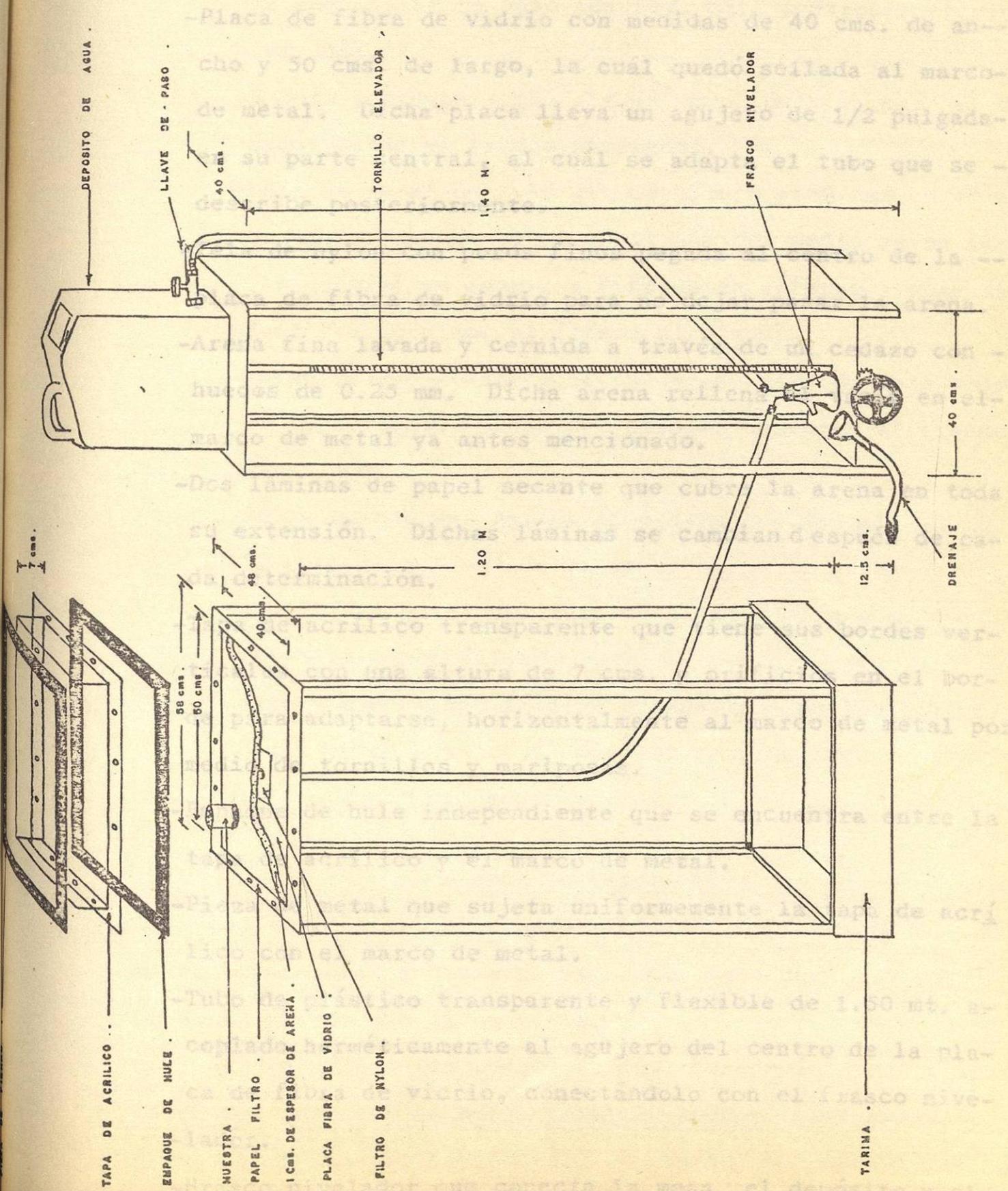


FIG. No. 7 DISEÑO MODIFICADO DE LA MESA DE TENSION . ESCALA 1: 10

- vidrio y quedar un vacío de 0.5 cms. de altura hasta -- su borde superior.
- Placa de fibra de vidrio con medidas de 40 cms. de ancho y 50 cms. de largo, la cuál quedó sellada al marco de metal. Dicha placa lleva un agujero de 1/2 pulgada en su parte central, al cuál se adapta el tubo que se describe posteriormente.
 - Tela de nylon con poros finos pegada al centro de la -- placa de fibra de vidrio para no dejar pasar la arena.
 - Arena fina lavada y cernida a través de un cedazo con huecos de 0.25 mm. Dicha arena rellena el vacío en el marco de metal ya antes mencionado.
 - Dos láminas de papel secante que cubre la arena en toda su extensión. Dichas láminas se cambian después de cada determinación.
 - Tapa de acrílico transparente que tiene sus bordes verticales con una altura de 7 cms. y orificios en el borde para adaptarse, horizontalmente al marco de metal por medio de tornillos y mariposas.
 - Empaque de hule independiente que se encuentra entre la tapa de acrílico y el marco de metal.
 - Pieza de metal que sujeta uniformemente la tapa de acrílico con el marco de metal.
 - Tubo de plástico transparente y flexible de 1.50 mt. acoplado herméticamente al agujero del centro de la placa de fibra de vidrio, conectándolo con el frasco nivelador.
 - Frasco nivelador que conecta la mesa, el depósito y el

- desague.

-Tanque de plástico con capacidad de 20 litros, que sirve como llave de paso adaptada para controlar el paso del agua.

-Embudo y manguera que sirven como conexión para el desague desde el frasco nivelador.

-Mesa de metal de 1.40 mt. de altura y 40 cms. x 40 cms de ancho con una placa móvil que por medio de un tornillo central se adapta a diferentes alturas, sobre la cuál irá colocado el frasco nivelador.

-Manguera que abastece el tanque de agua durante todo el experimento, dando una presión uniforme al frasco-- nivelador.

-Se le adaptó una tarima de madera con una altura de -- 12 cms. a la mesa que tiene el marco de metal para así partir del nivel del agua del frasco nivelador con respecto al papel filtro.

-Nylon para evitar pérdida de muestras de los cilindros. Dicho nylon cortado y adaptado con una liga a la parte inferior del cilindro.

Manera de Usarla

Una vez montado el armazón inferior de la mesa, se sube el frasco nivelador hasta el nivel del agua para que quede a la misma altura que dicha arena.

Se deja pasar lentamente el agua del depósito al frasco-- nivelador para que la arena desaloje todo el aire atrapado y-- pase a un estado de saturación, se procede a humedecer el pa--

pel filtro para una mejor disposición encima de la arena, se usan dos hojas de papel filtro entrecruzadas para que los poros del papel actúen como un filtro más fino.

Una vez alcanzado el paso anterior, se coloca el empaque de hule (pieza independiente) de manera que atrape los bordes del papel secante.

Las muestras de suelo contenidas en los cilindros, se protegen contra pérdidas de material sujetando en su parte inferior un pedazo de tela nylon mediante una liga. Dichas muestras se pueden saturar directamente en la mesa, pero se gana tiempo especialmente en muestras bastantes secas ó de textura pesada, colocándolas en una bandeja con agua que llegue a un centímetro más o menos de su borde superior.

Una vez saturadas las muestras, se colocan sobre el papel filtro de la "mesa" (cabén fácilmente 30 muestras) presionando un poco su parte inferior protegida sobre el papel filtro, a fin de obtener un íntimo contacto. Luego se procede a instalar la tapa de acrílico más la pieza de metal. Estas piezas se ajustan por medio de tornillos y no debe haber escape de aire ni agua para un buen funcionamiento. Luego se procederá a abrir la llave del depósito calculando que el gasto no sea demasiado ni escaso, pues dicha fuerza que produce la columna del depósito es la que ayuda a mantener la columna de agua de un metro, a la cuál van a estar sujetas las muestras. El frasco nivelador baja un metro a partir del nivel del papel filtro. Después se deja pasar el agua que abastece el tanque para mantener una presión constante en la llave de paso de dicho tanque. La máxima duración en que se encuentra

en equilibrio la columna de agua es de 24 horas.

Después de aplicar la succión equivalente a 100 cms. de columna de agua y pesados los cilindros con el suelo, se colocan en estufa para que se sequen a una temperatura de 110 grados centígrados aproximadamente y por 48 horas. Con los pesos obtenidos después de secarse y después de aplicada la succión deduciendo en ambos casos el peso del cilindro, se determinan los porcentos de humedad a un décimo de atmósfera, así:

$$\%P \frac{(W-C) - (w-C)}{(w-C)} \times 100 \quad (6)$$

dónde:

%P = Porcentaje de humedad en peso.

W = Peso del suelo húmedo después de aplicar la succión, más peso del cilindro.

w = Peso del suelo después de secarse, más peso del cilindro.

C = Peso del cilindro.

Para obtener el Peso Específico Aparente, basta dividir el peso seco del suelo (w-C) entre el volúmen del cilindro -- que lo contenía.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para establecer los resultados de esta investigación se llevaron a cabo determinaciones adicionales dentro del laboratorio de suelos de los principales factores que influyen ó afectan a la Capacidad de Campo, tales como Textura, Materia Orgánica, Sales y Peso Específico Aparente (Tablas Nos. 1, 2, 3 y 4) respectivamente.

Los datos de la Tabla No. 5 nos indican los resultados en por ciento de humedad obtenidos por los siguientes métodos:

- Método Gravimétrico (Columna No. 2)
- Columnas de Suelo (Columna No. 3)
- Olla de Presión
 - a 1/3 de Atm. (Columna No. 4)
 - a 1/10 de Atm. (Columna No. 5)
- Mesa de Tensión
 - con muestras sin disturbar (Columna No. 6)
 - con muestras disturbadas (Columna No. 7)

Los resultados obtenidos durante el presente trabajo por los diferentes métodos, muestran que la textura es factor principal para la variación del contenido de humedad según la profundidad. En este caso se debe a que mayor profundidad, menor contenido de arcilla y limo, y mayor contenido de arena. Baver y Gardner (2) nos muestran que la arcilla tiene más cohesión y más superficie para un volumen determinado que la arena, dando como resultado mayor número de películas de agua y mayor contacto superficial.

El contenido de sales según la Tabla No. 3, nos muestra -

TABLA No. 1 TEXTURA. PERFIL DE SUELO CON CLASIFICACION ECONOMICA: ARCILLOSO

PROFUNDIDAD	%ARENA	%LIMO	%ARCILLA
0-10	16.04	49.24	50.76
10-20	16.04	49.24	50.76
20-30	16.04	49.24	50.76
30-40	16.04	49.24	50.76
40-50	16.04	30.16	53.80
50-60	16.04	32.36	51.60
60-70	14.04	32.00	53.96
70-80	13.04	31.00	55.96
80-90	12.32	31.72	55.96
90-100	10.60	33.40	55.96
100-110	13.88	31.64	54.48
110-120	13.52	34.00	52.48
120-130	13.16	36.36	50.48
130-140	13.16	38.36	48.48
140-150	14.80	38.72	46.48
150-160	21.16	37.64	41.20
160-170	25.16	34.36	40.48
170-180	26.80	30.72	42.48
180-190	22.80	30.36	46.84
190-200	22.80	28.36	48.84

TABLA No. 2 MATERIA ORGANICA. PERFIL DE SUELO CON CLASIFICACION AGRONOMICA: MEDIANO

PROFUNDIDAD	1.0	%MATERIA ORGANICA	1.5
0-30		1.04	
30-60		1.25	
60-90			1.34
90-120			1.34
120-150			1.34

TABLA No. 3 SALES EN EL SUELO. PERFIL DE SUELO CON CLASIFICACION AGRONOMICA: NO SALINO

PROFUNDIDAD	SALES MILLIMHOS/CM	PROFUNDIDAD	SALES MILLIMHOS/CM
0-10	0.8	100-110	1.75
10-20	0.8	110-120	1.75
20-30	1.3	120-130	1.5
30-40	1.2	130-140	1.3
40-50	1.9	140-150	.8
50-60	1.6	150-160	.55
60-70	1.4	160-170	.6
70-80	1.2	170-180	.8
80-90	1.3	180-190	.65
90-100	1.4	190-200	.65

TABLA No. 4 PESO ESPECIFICO APARENTE OBTENIDO POR LA TECNICA DEL NUCLEO.

PROFUNDIDAD	PESO ESPECIFICO APARENTE	PROFUNDIDAD	PESO ESPECIFICO APARENTE
0-10	1.173	100-110	1.093
10-20	1.160	110-120	1.268
20-30	1.016	120-130	1.212
30-40	1.000	130-140	1.201
40-50	1.016	140-150	1.185
50-60	1.017	150-160	1.679
60-70	1.011	160-170	1.452
70-80	1.000	170-180	1.272
80-90	1.052	180-190	1.402
90-100	1.120	190-200	1.343

TABLA No. 5 PORCIENTOS DE HUMEDAD DEL PERFIL DEL SUELO SEGUN LOS METODOS QUE SE SUSCRIBEN A CONTINUACION:

PROFUNDIDAD	METODO GRAVIMETRICO	OLLA DE PRESION		COLUMNAS DE SUELO	MESA DE TENSION	
		1/10	1/3		No Disturbadas	Disturbadas
0-10	25.2	36.79	31.41	21.71	39.23	39.00
10-20	20.8	34.18	30.97	23.64	38.24	41.32
20-30	19.9	34.12	29.07	23.53	41.12	40.33
30-40	18.8	34.31	30.13	22.81	40.79	37.97
40-50	16.5	33.19	28.87	21.42	37.82	41.00
50-60	16.0	35.51	29.32	23.58	40.76	39.28
60-70	16.8	34.52	28.57	22.71	39.83	40.27
70-80	16.2	34.33	29.92	24.16	39.04	39.65
80-90	15.8	33.20	27.65	21.94	43.36	35.56
90-100	16.9	31.44	27.89	19.67	40.07	41.07
100-110	16.3	30.09	27.70	20.56	40.33	35.31
110-120	15.4	30/29	25.00	18.72	31.63	35.45
120-130	14.5	28.97	25.20	19.04	30.03	35.11
130-140	14.6	27.77	23.14	18.98	34.84	34.34
140-150	13.9	28.27	23.69	17/51	35.40	33.98
150-160	13.7	32.01	25.58	21.64	25.77	37.97
160-170	13.0	31.44	25.21	19.73	24.22	36.48
170-180	13.0	32.36	26.50	21.54	32.47	38.37
180-190	12.9	31.00	25.21	19.95	18.64	34.84
190-200	13.5	30.34	25.11	18.68	29.64	38.16

que el suelo tiene valores de acuerdo con la clasificación agronómica de, no salinos. Por tanto dicho factor no influye significativamente en el contenido de agua con respecto a la profundidad del perfil.

En el terreno donde se tomaron las muestras, se tienen como antecedentes, el riego con aguas negras y roturación profunda. En la Tabla No. 2 se muestra que las capas de 0-30 y 30-60 de profundidad, tienen menor contenido de materia orgánica que las capas siguientes, las cuáles se mantienen constantes en su contenido. Esto puede ser a causa del monocultivo de baja zona radicular ó la destrucción de agregados a causa de los cultivos aplicados. En este caso, los contenidos de materia orgánica no son determinantes para la variación de contenido de humedad según en el perfil de suelo estudiado. Baver y Gardner (2) nos explican que existe una correlación altamente significativa entre la materia orgánica y la agregación de los suelos que contienen menos del 25% de arcilla. Para contenidos de arcilla mayores del 35%, la correlación es significativa, pero sin ser tan alta. Por lo que deducimos que los agregados de dicho suelo son de tipo inorgánico debido al alto contenido de arcilla que va de 48% a 50%. En este caso, los agregados formados por las arcillas son causantes de la variación del contenido de humedad en el perfil del suelo.

En la Tabla No. 6, se presentan los datos de peso específico aparente y los porcentos de humedad por el Método de la Mesa de Tensión con muestras obtenidas por la Técnica del Núcleo, para mostrar lo que nos mencionan Box y Taylor (6) --

TABLA No. 6 COMPARACION DE DATOS OBTENIDOS EN PORCIENTOS DE HUMEDAD DE LA MESA DE TENSION Y SUS RESPECTIVOS PESOS ESPECIFICOS APARENTES.

PROFUNDIDAD	% HUMEDAD	PESO ESPECIFICO APARENTE
0-10	39.23	1.173
10-20	38.24	1.160
20-30	41.12	1.016
30-40	40.79	1.000
40-50	37.82	1.016
50-60	40.76	1.017
60-70	39.83	1.011
70-80	39.04	1.000
80-90	43.36	1.052
90-100	40.07	1.120
100-110	40.33	1.093
110-120	31.63	1.268
120-130	30.63	1.212
130-140	34.84	1.201
140-150	35.40	1.185
150-160	25.77	1.679
160-170	24.22	1.452
170-180	32.47	1.272
180-190	18.64	1.402
190-200	29.64	1.343

(1961) que al aumento del peso específico aparente, hay una disminución de contenido de humedad. Esto es debido a la disminución del espacio poroso del suelo. Los datos presentados del peso específico aparente, muestran gran variación debido a la diferencia en contenido de humedad en el perfil de suelo a la hora del muestreo, lo cuál hizo más compactas las muestras que tenían mayor contenido de humedad alterando así el peso específico aparente natural del suelo.

Presentamos en la Figura No. 8, los datos de porcentos de humedad con respecto a la profundidad del perfil de los -- cuatro Métodos usados. El Método Gravimétrico, el cuál describe una curva de humedad más definida, es el de datos que -- más representan su estado actual del suelo. Esto es a causa de llevarse a cabo en condiciones naturales de compactación, -- temperatura y otros factores que en su estado original determinan los valores más representativos de contenido de humedad a Capacidad de Campo.

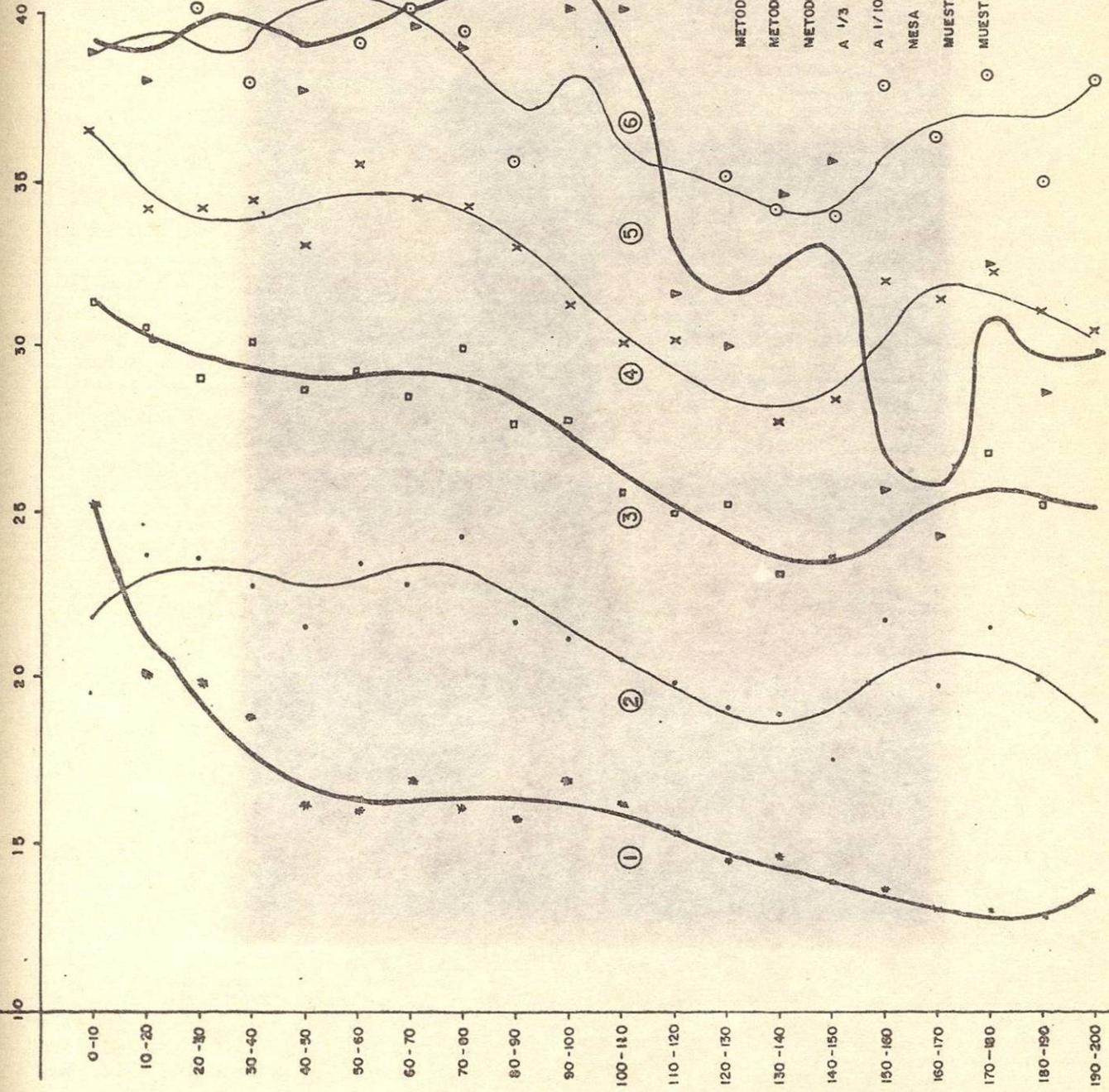
Los resultados que más se acercan a dicho Método son --- los de las Columnas de Suelo, por encontrarse a una compactación más similar a lo natural y que el equilibrio lo establece el mismo suelo con el frente humedo, y no por un determinado tiempo ni un potencial dado.

Por los datos obtenidos con el Método Gravimétrico, el Método de la Olla de Presión nos muestra que el contenido de humedad a Capacidad de Campo, no se encuentra entre los rangos de $1/10$ y $1/3$ de Atmósfera, de lo cuál Baver y Gardner(2) hacen mención en ejemplos de potenciales de agua de $-.005$ Bares en suelos altamente estratificados hasta valores muy pequeños como $-.6$ Bares en suelos profundos de tierras áridas -- que han sido observados en la zona radicular, demostrando lo arbitrario que puede ser en muchos casos el tomar potenciales entre $1/10$ y $1/3$ de Atmósfera.

En el Método de la Mesa de Tensión, Fig. No. 9, se observa -- que el rango de contenido de humedad es el más alto con respecto a los demás, ésto es debido a la falta de práctica -- en su manejo y al potencial usado. Los datos pueden aparecer-

H U M E D A D

%



- ① METODO GRAVIMETRICO
- ② METODO COLUMNAS DE SUELO
- ③ METODO DE LA OLLA DE PRESION A 1/3 DE ATM.
- ④ METODO DE LA OLLA DE PRESION A 1/10 DE ATM.
- ⑤ MESA DE TENSION
- ⑥ MUESTRAS NO DISTURBADAS
- MUESTRAS DISTURBADAS

F. G. No. 3 CURVAS DE HUMEDAD DE LOS CUATRO METODOS USADOS



FIGURA No. 9. MESA DE TENSION

más reales si se procura que las muestras sean menos disturbadas, y el rango en el potencial sea más amplio, usándose otro principio para la aplicación de succiones ó presiones a las muestras y de mejor y más fácil manejo en dicho aparato.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Basándose en las observaciones y resultados obtenidos durante el experimento, presentamos las siguientes conclusiones y recomendaciones:

RECOMENDADO PARA MEDIR	CONDICIONES DE OPERACION Favorable Limitante	PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS
<p>Método para determinar el contenido de agua en el suelo.</p>	<p style="text-align: center;">Método Gravimétrico</p> <p>1) Con un suelo de Textura uniforme y mediano sin rocas ni grava. 2) Muestreo infrecuente. 3) Con la superficie bien protegida para evitar la evaporación. 4) Muestreo en la madrugada 5) Agua en disposición para una plena saturación del área en prueba</p>	<p>1) Método básico para medir el contenido de agua con respecto al tiempo. 2) Es muy larga la prueba además de que requiere perforaciones en el suelo para tener una muestra segura. 3) Si no se controlan los factores limitantes para esta prueba, los datos serán erróneos.</p>

RECOMENDALO PARA MEDIR	CONDICIONES DE OPERACION Favorable Limitante	PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS
Método para determinar el contenido de agua en el suelo.	<p style="text-align: center;">Columnas de Suelo</p> <p>1) Muestras igualmente tamizadas y compactadas.</p> <p>2) Textura uniforme sin roca ni grava en el perfil.</p> <p>3) Cilindros con las medidas especificadas para el caso.</p> <p>4) Aplicar la debida cantidad de agua para los diversos tipos de suelo.</p>	<p>1) Método de Laboratorio que mide el contenido de agua al tiempo de ser menor el movimiento del agua en el suelo.</p> <p>2) Se usan muestras disturbadas.</p>

RECOMENDADO PARA MEDIR	CONDICIONES DE OPERACION Favorable Limitante	PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS.
Relación entre el contenido de agua dado y un Potencial Matricial dado en el laboratorio.	<p style="text-align: center;">Olla de Presión</p> <p>1) Muestras no alteradas.</p> <p>2) Perfil de suelo sin grava ni roca.</p> <p>3) Suelo saturado de agua.</p> <p>4) Se necesitan pocas muestras.</p> <p>5) Las muestras no son repetidas.</p>	<p>1) Cubre todo el rango de campo del agua del suelo de .0 a 1.0 ATM.</p> <p>2) Requiere muestras en el Laboratorio.</p> <p>3) Requiere por lo menos dos días para estar en equilibrio.</p> <p>4) Requiere equipo especial y mantenimiento apropiado.</p>
Contenido de agua de un Potencial Matricial de .0 a .1 Atm. dado en el Laboratorio.	<p style="text-align: center;">Mesa de Tensión</p> <p>1) Muestras no Alteradas.</p> <p>2) Suelo Húmedo</p> <p>3) Muestras no repetidas.</p> <p>4) Muestrear en una calicata de perfil homogéneo y sin roca ni grava.</p>	<p>1) Método del Laboratorio que respeta la estructura del suelo.</p> <p>2) Se pueden manejar 30 muestras a la vez.</p> <p>3) Su costo es relativamente caro por la mano de obra y las piezas mandadas a hacer.</p>

RECOMENDADO PARA MEDIR	CONDICIONES DE OPERACION Favorable	PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS Limitante
5)Tapa superior hermética a la-Mesa de Tensión.	5)Fugas de agua y aire en la Mesa de Ten-sión.	4)Su tiempo máximo de estar en equilibrio la columna de agua es de un día.
6)Carga constante en el tanque de abastecimiento.	6)Carga variable en el tanque de abastecimiento.	5)Cubre sólo un rango de agua en el suelo.
7)Manejo cuidadoso de las muestras evitando pérdidas ó alteración.	7)Manejo cuidadoso de las muestras evitando pérdidas ó alteración.	6)Es difícil saber si se llegó a su equilibrio. 7)Requiere muestras en el laboratorio.

RESUMEN

El experimento fué llevado a cabo en el Campo Agrícola -- Experimental (Ex-Hacienda del Canadá, Municipio de Gral. Escobedo, N.L.) y en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía, U.A.N.L.

El experimento consistió en la determinación de la Constante Hídrica llamada Capacidad de Campo, por los Métodos: Gravimétrico, Columnas de Suelo, Olla de Presión y la Mesa de tensión, más la construcción y aprendizaje del funcionamiento de la Mesa de Tensión.

En el presente trabajo, se observó que en todos los Métodos la Textura fué factor determinante para la variación en -- los contenidos de humedad con respecto a la profundidad, debido al gran contenido de arcilla, que es causa de los agregados predominantes en dicho suelo pues son de tipo inorgánico.

Se observó que los datos más representativos son los del Método Gravimétrico, debido a que dicho Método se lleva a cabo en condiciones naturales de compactación, temperatura y valores más representativos del contenido de humedad a Capacidad de -- Campo.

Los resultados que más se acercan a dicho Método es el de las Columnas de Suelo, por encontrarse a una compactación más similar a lo natural y que el equilibrio lo establece el mismo suelo con el frente húmedo, y no por un determinado tiempo ni un potencial dado.

El Método de la Olla de Presión nos demostró que el rango de $1/10$ a $1/3$ de Atm., es una medida muy arbitraria para esta-

plecer la Constante Hídrica llamada Capacidad de Campo. En este trabajo se observó que dicho suelo tiene su punto de Capacidad de Campo a valores de potencial superiores de $1/3$ de Atm.

En el Método de la Mesa de Tensión, se observó que el rango de contenido de humedad fué el más alto con respecto a los demás, ésto se atribuye a la falta de práctica en su manejo y al potencial usado ($1/10$ de Atm.) Los datos pueden aparecer más reales si se procura que las muestras sean lo menos disturbadas posibles, y el rango en el potencial sea más amplio usándose para ello otro principio en la aplicación de succiones ó presiones a las muestras, y mejor y más fácil manejo de dicho aparato.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Baver, L.D. "Soil Permeability in relation to Non Capillary porosity". Soil Sci.Soc.Amer. Proc 3: 52-56, 1938.
- 2.- Baver, L.D. Gardner, H.W. Gardner, W.R. 1973 "Física de -- suelos" Primera Edición Edit. U.T.E.H.A. México --- Págs. 148, 150, 153, 165, 280, 294, 299, 301, 307 - al 329, 352, 375 y 377.
- 3.- Bendixen, T.W.; Slater, C.S. "Effect of the time of drainage on the measurement of soil pore and its relation of permeability" Soil.Sci.Amer. 11: 35-42, 1947.
- 4.- Bolt, G.H. "Soil Moisture". 1st. Postgraduate Course on --- Land Drainage. Copia multigrafiada. Wageningen (Netherlands) 1962.
- 5.- Carmona, R.G. 1966. "Manual del Laboratorio para Edafolo-- gía y fertilidad de suelo" F.A.U.A.N.L. Mty., N.L.- México.
- 6.- Gavande, S.G. 1972 "Física de Suelos, Principios y Aplica-- ciones" Primera Edición, Edit. Limusa, Wiley, S.A.- México, Pág. 157-179
- 7.- Granados, H.A., 1971 "Métodos Modernos de Riego de superficie" Edit. Aguilar Mexicana, s.a. Pág. 116-117.
- 8.- Hall, A.D. Robinson, G.W., 1961 "Estudio Científico del -- Suelo" Edit. Aguilar Mexicana, S.A. Pág. 74-75
- 9.- Hansen, Israelsen, 1965 "Principios y Aplicaciones del Riego" 2a. Edición Edit. Reverté, S.A. México Pág. 144 a 179.
- 10.- International Society of Soil Science, Amsterdam. Bulletin

Edit. Continental, S.A. México, Pág. 74.

- 20.- Richards, L.A. 1954 "Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos" D.A. E.U.A. Manual 60 --- Washington, D.C. Pág. 116-117.
- 21.- Richards, L.A. "Methods of Measuring Soil Moisture Tension" Soil Sci. 68: 95-112. 1949.
- 22.- Russel, M.B. "Methods of Measuring Soil Structure and Aeration" Soil Sci. 68: 25-35, 1949.
- 23.- Smith, N.M.; Browing, D.R. Pohlman, G.G. Laboratory permeability through undisturbed soil samples in relation to pore size distribution. Soil Sci. 57: 197-213, 1944.
- 24.- Stakman, W.P. Moisture retention curves; conceptions and methods in relation to the description of soil structures by physically significant parameters. Wageningen, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. 1962 pp. 24-35 Copia multigrafiada.
- 25.- _____ Soil Moisture. Measurements Postgraduate Course on Land Drainage. Copia multigrafiada. Wageningen (Netherlands) 1962.
- 26.- Visser, W.C. Soil Moisture sampling as a basis for a detailed description of moisture utilization by crops. Plant Water Relationship in Arid and Semi arid Conditions. Proceedings of the Madrid Symposium, UNESCO., París. pp. 33-41, 1961.

