

“CONSTRUCCION DE UN PERMEAMETRO DE CABEZA CONSTANTE PARA LA DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA EN MUESTRAS SIN DISTURBAR”

Por: Jesús Alberto Cordero Arb. (*)

Manuel Grillo Franco (**)

I.— INTRODUCCION.

La conductividad hidráulica es una de las propiedades físicas de los suelos, que ha sido objeto de especial atención por un gran número de investigadores, de todo el mundo debido a la preponderante importancia que tiene en el diseño de sistemas de riegos y drenajes, y también, en el diseño de pozos profundos para captación de aguas subterráneas. Esto contribuye a la determinación de técnicas adecuadas de análisis con las cuales la Ingeniería Agrícola ha logrado importantes avances en la interpretación de las propiedades mecánicas del suelo.

En Colombia, las investigaciones de este carácter son aún escasas y adolecen de la metodología apropiada para la evaluación confiable de los resultados. Se ha estimado de gran utilidad y conveniencia la construcción de un permémetro de cabeza constante para hacer determinaciones de conductividad hidráulica y, hacer en forma sistemática evaluaciones de esta propiedad física del suelo, que se deben llevar en el laboratorio, utilizando muestras de suelo sin disturbar, con el objetivo de desarrollar una metodología apropiada.

Circunstancias posteriores al planteamiento del problema y simultáneas al desarrollo del trabajo, determinaron la necesidad de hacer evaluaciones de otras propiedades del suelo, con el fin de obtener estimaciones comparativas con la conductividad hidráulica, y así poder comprobar la veracidad del aparato construído y la metodología empleada.

Las muestras sin disturbar fueron empleadas en el trabajo, debido a que ellas conservan las propiedades físicas originales y por lo tanto los errores debido a la fragmentación de las muestras son obviados en su mayoría, así las diferentes determinaciones son más parecidas a la realidad en el campo.

(*) Tesis de Grado, presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo. U. Nal. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira.

(**) Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Presidente de Tesis y Coautor del presente trabajo.

II.— REVISIÓN DE LITERATURA.

A. Generalidades.

La rata de movimiento de agua a través del suelo se considera importante en muchos aspectos de la agricultura y vida urbana. El flujo del agua a las raíces de las plantas, el flujo del agua hacia drenes y pozos, y la evaporación del agua desde la superficie del suelo son entre otras las situaciones obvias en las cuales la rata de movimiento juega un papel importante. El agua se mueve a través del suelo en respuesta a las muchas fuerzas que actúan sobre ella, entre ellas están: el gradiente de presión, la fuerza gravitacional, la fuerza motriz y las fuerzas osmóticas. La suma del gradiente térmico y eléctrico pueden imponerse sobre la fuerza del agua en el suelo y causar el movimiento bajo ciertas circunstancias. Expresado en otra forma, el grado de movimiento del agua es proporcional a la energía motriz e inversamente proporcional a la longitud del trayecto y la fuerza de resistencia al flujo ejercida por el suelo. (Richard, 23; Edminster, 7; Klute, 15).

Para una evaluación de drenaje interno se exige el conocimiento previo de las propiedades físicas del suelo, para ello hay que hacer pruebas de laboratorio y campo; una de estas pruebas es la conductividad hidráulica (Correa, 5).

La determinación de la conductividad hidráulica se ha hecho durante mucho tiempo. Los datos son usados en análisis de cualquier suelo saturado por un sistema de flujo de agua. Esto incluye drenaje de suelos para depósitos agrícolas, así como de ingeniería. El dato también provee información indirecta acerca de la estructura y estabilidad estructural de los suelos. (Flute, 15).

La conductividad hidráulica no es una propiedad estática y el hecho de que refleje la interacción de las partículas del suelo con el agua que ella circula, permite que la variación de agua y suelo influyan en su magnitud. La influencia del agua puede ocurrir principalmente a través del tiempo en aquellos terrenos agrícolas sujetos a lavados de sales o en procesos de salinización, mientras que la influencia del suelo se da en el espacio; de hecho, un suelo heterogéneo, con lleva la heterogeneidad de la conductividad. (Gómez, 10).

Klute (15) expresa que la selección de un sistema para la medición de la conductividad hidráulica implica varios factores entre los cuales están: a) La exactitud requerida y b) La cantidad de esfuerzo que puede ser empleado para obtener los datos de cada muestra.

La conductividad enfrenta dos dificultades en cuanto a su estimación: Los métodos de determinación y el manejo matemático del conjunto de datos obtenidos de una masa de suelo dado, para llegar a su valor único. (Gómez, 10).

Según Grassi (12) para que las mediciones de la conductividad en el laboratorio sean dignas de confiar, deben reunir las siguientes características:

a) Para los perméámetros de carga constante, que la carga se mantenga constante y ésta pueda ser medida exactamente.

b) Los medios para sostener la muestra deben ser tales, que no aumenten significativamente las pérdidas de carga a través de la muestra.

c) La temperatura del agua durante el ensayo, deberá mantenerse relativamente constante y se medirá para hacer las correcciones correspondientes a una temperatura constante.

d) El agua usada en el ensayo será de una concentración salina y composición tal que no produzca dispersión del suelo. El agua nunca tendrá un porcentaje de Na. más alto que la que estaba en contacto con el suelo.

e) El agua no estará con el aire. El aire disuelto puede precipitarse en la columna de suelo y disminuir la conductividad.

f) El agua que se use en el ensayo estará libre de materiales en suspensión y de microorganismos.

B. Perméámetro de Carga Constante.

El perméámetro mide el volúmen de agua que se filtra en un determinado tiempo a través de una muestra sobre la cual se mantiene un nivel de agua constante. Según las muestras sean disturbadas o sin disturbar resultan variantes en las características del perméámetro. (García, 9).

El perméámetro de carga constante debe usarse solamente para suelos de alta conductividad (mayores de 0,1 cm./ minuto). Esta limitación se debe al hecho de que si el suelo es relativamente impermeable, la velocidad del flujo es baja y así la pérdida de agua por evaporación, llega a tener una magnitud importante. (Lambe, 17).

El perméámetro mide solamente la conductividad hidráulica en suelos saturados y se necesita un equipo más complicado para determinar su valor a diferentes niveles de saturación (Edminster, 7).

C. Núcleos de Suelos.

Cualquier muestra de suelo con estructura disturbada o indisturbada son usualmente contenidos en cilindros plásticos o metálicos, de manera que un flujo unidimensional, pueda ser obtenido. Muestras relativamente indisturbadas, pueden ser obtenidas por innumerables caminos. En el campo se puede introducir al suelo cilindros de pared delgada, para obtener muestras con estructura sustancialmente intacta.

Los cilindros metálicos se ajustan a un tubo muestreador y después de que se toma la muestra, esos cilindros sirven como recipiente para las muestras al hacer la determinación de conductividad hidráulica. (Klute, 15).

Una desventaja de medir la conductividad hidráulica en el laboratorio, es que la muestra es muy pequeña y posiblemente no dá un promedio representativo de las condiciones del suelo. (Linsley, 18).

D. Definición de Conductividad Hidráulica.

La conductividad hidráulica de los suelos es un valor que integra macroscópicamente a todas las características del suelo que tienen que ver con el movimiento del agua; se define como la constante de proporcionalidad de la ley de Darcy ($V = K_i i$). En realidad se habla de ella cuando se refiere a condiciones de saturación. (Gómez, 10).

La conductividad hidráulica expresa la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua. Este valor es un dato en las fórmulas de drenajes del suelo, referente al exceso de agua que penetra en el suelo y llega a tocar el nivel freático, determinado por el clima. (Colmenares, 4; Forsythe, 8).

E. Unidades de Conductividad Hidráulica.

La conductividad hidráulica tiene las dimensiones de velocidad. Las formas más usadas para expresarlas según Colmenares (4) y Forsythe (8) son: Cm./seg., Cm./hora ó Metros / día.

F. Diferencia entre Conductividad Hidráulica y Permeabilidad Intrínseca.

Se han propuesto varios nombres para la constante K de la ley de Darcy y la situación se ha venido a complicar por la enumeración de una forma modificada de la ley de Darcy en la cual la viscosidad del fluido se comporta en forma separada, esto es:

$$V = \frac{-K' \text{ Grad. } \phi}{n}$$

En esta ecuación la constante K' es una propiedad del cuerpo poroso sólo y no del fluido; Grad. ϕ es el gradiente hidráulico y n, la viscosidad. Ahora es mejor evitar la ambigüedad adoptando las recomendaciones del Committee on Terminology of the Soil Society of América.

De acuerdo con esto K viene a ser la conductividad hidráulica del cuerpo específico con el fluido específico y K' la permeabilidad intrínseca del cuerpo. (Luthin, 19).

El uso de la permeabilidad K', tiene la importante característica de ser independiente del líquido ó gas usado para hacer la medición, y tiene las dimensiones de área (cm^2) y está influenciado por el tamaño y forma de las partículas del suelo y poros (textura y estructura del suelo). Sin embargo, en el tratamiento del movimiento del agua en un medio poroso como el suelo, es conveniente expresar la permeabilidad en términos de la conductividad hidráulica (Grillo, 13).

Según Grillo (13) la conversión de la permeabilidad intrínseca a conductividad se hace por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{K' \cdot f \cdot g}{n}$$

K' = Permeabilidad intrínseca (cm^2)

f = Densidad del agua (gm./cm.^3)

g = Aceleración debida a la gravedad (cm./seg^2)

n = Viscosidad del agua (gm./seg.)

G. Cálculo de la conductividad hidráulica.

Según García (9) y Forsythe (8) la conductividad hidráulica, cuando se ha determinado por medio del permémetro de cabeza constante, se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$K = \frac{Q \cdot L}{A \cdot T \cdot \Delta H}$$

K = Conductividad hidráulica para el agua en el laboratorio.

Q = Volúmen del flujo.

A = Area de la sección transversal de la muestra.

T = Tiempo empleado para recolectar Q .

L = Longitud de la muestra.

ΔH = Diferencia de cabeza hidráulica a través de la muestra.

Debido a que la temperatura del agua del laboratorio es normalmente más alta que la del agua subterránea, es necesario hacer una corrección para poder dar el resultado, bastante aproximado. (Segeren, 26).

Lambe (16) dá la siguiente fórmula para hacer dicha corrección:

$$K_s = K_t \frac{N_t}{N_s}$$

K_s = Conductividad para el agua a 20°C .

K_t = Conductividad para el agua en el laboratorio.

N_s = Viscosidad del agua a la temperatura de 20°C .

N_t = Viscosidad del agua a la temperatura del laboratorio.

H. Manejo de los Sub-datos de Conductividad Hidráulica.

Brouwer (3) dice que se debe usar la media aritmética, cuando el suelo es homogéneo y no estratificado, y los diferentes valores de conductividad hidráulica son debidos a error en las medidas; y para suelos estratificados de igual espesor, donde cada uno de estos valores es el valor del estrato:

$$K_a = \frac{K_1 + K_2 \dots K_n}{n}$$

Se saca el inverso de la suma de los inversos, para cuando el flujo es normal a los estratos y los estratos son de igual espesor:

$$K = \frac{n}{1/K_1 + 1/K_2 + \dots 1/K_n}$$

1. Factores que afectan la Conductividad Hidráulica.

El valor de la conductividad hidráulica depende de las características del fluido y del suelo (Lambe, 16).

Debido a lo anterior los factores pueden dividirse en:

- a) Factores que afecten el suelo.
- b) Factores que afecten el fluido.

Entre los relacionados con el suelo se encuentran los siguientes:

1) Acción recíproca del fluido con el medio poroso.

Los medios porosos se pueden clasificar dentro de dos amplias clases, que son los materiales estables y los materiales inestables, dependiendo o no en un cambio en el tamaño y disposición de los poros, como resultado del paso del fluido a través del medio. La mayoría de los suelos que se encuentran en los problemas de drenaje agrícola, se pueden clasificar como materiales inestables. Pero es útil considerar ambos factores (Luthin, 19).

Es de conocimiento común que existe una acción recíproca entre el agua y el suelo y por lo tanto, la conductividad hidráulica de suelo no es constante. Existe una acción recíproca entre el agua y el suelo, dependiendo principalmente de la constitución mineralógica de las partículas del suelo. La cantidad de agua que se percola a través del suelo tiene un efecto marcado sobre la conductividad. Tanto la concentración electrolítica como la composición del agua que intervienen en la conductividad hidráulica de los suelos afectan las propiedades del suelo. (Luthin, 19).

2) La actividad biológica.

La conductividad hidráulica de suelos continuamente sumergidos generalmente decrece ligeramente al principio, pero después se incrementa en formas apreciables cuando el aire encerrado sale en forma de solución en el agua de percolación. Ensa-

yos conducentes a determinar las causas de disminución de la conductividad hidráulica bajo prolongada sumersión no dieron evidencia en deterioro de los agregados del suelo, debidas puramente a causas físicas. La reducción de la conductividad hidráulica parece deberse a obturación microbial; los poros del suelo probablemente se taponan por el producto de crecimiento de los microorganismos, polisacáridos u otros materiales gomosos. Si una reducción de la conductividad hidráulica era debida en parte a la desintegración de los agregados del suelo, la dispersión se cree que es debido a causas biológicas, esto es, al ataque de microorganismos a materiales orgánicos. Los suelos esterilizados en el laboratorio con gas de oxígeno no presentaron cambios apreciables en sus propiedades físicas (Allison, 1).

3) Grietas y Hoyos en las muestras.

Grietas y Hoyos en el centro de las muestras son un problema adicional en la determinación de la conductividad hidráulica. Estos fenómenos estructurales se presentan en el campo y afectan el flujo en diferentes formas. Si la cabeza de presión es positiva y si las grietas tienen acceso a la superficie del suelo, ellas se llenan completamente de agua y contribuyen en gran parte al flujo recolectado para evaluar la conductividad hidráulica. Si la cabeza de presión del agua es negativa, tales estructuras se desecarán, si ellas tienen acceso a la superficie del suelo y causarán una disminución en el flujo del agua. La influencia de la corriente de agua a través de las grietas en una muestra de suelo para ser evaluada en el laboratorio puede no ser representativa del comportamiento del suelo en el campo (Klute, 15).

Grietas a lo largo de las interfases entre la muestra del suelo, y la pared del cilindro que contiene la muestra, puede ser una fuente de error, éste puede eliminarse por taponamiento de las muestras en el recipiente con una pasta pegajosa y parafina. (Klute, 15).

4) Porosidad del suelo.

En vista de que el agua se infiltra a través de los poros grandes del suelo, la percolación depende del número y tamaño de dichos poros. En el caso de dos suelos que contengan el mismo número de poros el que tenga poros más pequeños registra menos conductividad hidráulica por la resistencia que ofrece al flujo del agua. (Estados Unidos, 6).

Cultivos que fomentan la agregación de las partículas del suelo (ej. alfalfa, kudzú, trébol), han causado incremento de los valores de conductividad hidráulica al aumentar el tamaño de los espacios porosos (Uhland, 28).

5) Tipo de Arcilla.

Los suelos que contienen arcillas del tipo montmorillonítico sufren un cambio físico mucho mayor al mojarse y secarse, que los suelos de otro tipo de arcillas minerales. Esto se debe principalmente a la expansión de las micelas por la adsorción del agua dentro del arreglo de las partículas de arcilla montmorillonítica. El grado de este cambio físico es además modificado por la concentración iónica, la composición

del agua y la condición de cationes intercambiables del suelo. (Luthin, 19).

6) Estructura del Suelo.

La estructura es una de las características más importantes del suelo que influyen sobre la conductividad hidráulica, especialmente en suelos de textura vacíos, encontramos que las muestras en estado más estructurado tendrán mayor conductividad hidráulica que las que se encuentran en estado más disperso. Cuanto más dispersas estén las partículas, es decir cuanto más paralelamente estén orientadas, más tortuoso será el recorrido del fluído en el sentido normal de las partículas (Lambe, 16).

7) Tamaño y forma de las partículas.

El tamaño y forma de las partículas (se dá por sentado el hecho de que en el análisis del tamaño de las partículas éstos son casi de forma esférica, aunque muchas partículas son laminares), determina el tamaño de los vacíos normales (Horn, 14).

Es lógico suponer que cuando más pequeñas sean las partículas del suelo, menores serán los tamaños de los poros que constituyen los canales del flujo y por lo tanto, más baja será la conductividad hidráulica. (Lambe, 16).

La conductividad hidráulica, porcentaje de macroporos y densidad aparente, decrecen cuando se incrementa la cantidad de limo y arcilla (Mason, 20).

8) Bloqueo de los poros.

El bloqueo de los poros, por un segundo fluído de un medio poroso, es de importancia considerable para hacer mediciones de conductividad hidráulica. Esta condición ocurre tanto en donde el fluído de pruebas es un líquido y los poros son bloqueados por un gas que es arrastrado, como en donde el fluído de prueba es un gas y los poros están bloqueados por un líquido contenido dentro de los medios porosos (Luthin, 19).

9) El manejo del suelo.

La compactación del suelo por el paso del ganado o equipo de carga pesada, a menudo causa indeseable reducción en la velocidad de infiltración y conductividad hidráulica del suelo, porque se reduce el tamaño y continuidad de los poros; las labores de cultivo en suelos, particularmente arcillosos y bajos en materia orgánica, cuando están saturados o cerca de la saturación, a menudo causa la destrucción de la estructura natural del suelo, resultando en consecuencia una disminución de la conductividad hidráulica. (Horn, 14).

10) El grado de saturación.

El grado de saturación (proporción de los espacios porosos ocupados por agua) de las partículas tiene una influencia marcada sobre la conductividad hidráulica cuanto mayor sea el grado de saturación, mayor será la conductividad hidráulica, (Lambe, 16).

11) Heterogenicidad de materiales porosos.

En la teoría del flujo del líquido a través de medios porosos y en el desarrollo de métodos para medir conductividad hidráulica, una de las suposiciones básicas, que generalmente está involucrada, es que el medio poroso es homogéneo. A medida que se vuelve más pequeño el volumen del suelo considerado, aumenta la tendencia del suelo a ser homogéneo. (Luthin, 19).

12) Contenido de Na, Ca, Mg y K intercambiables y óxidos de hierro.

Por lo general la permeabilidad del aire es un poco menor para suelos que contienen potasio que suelos que contienen sodio. Para todos los suelos hay un decrecimiento en la permeabilidad del suelo, cuando se incrementa el Na y K intercambiables.

Cuando se incrementa el Na y K intercambiables, la relación de permeabilidad (Relación de permeabilidad al aire con respecto a la permeabilidad al agua), se incrementa exponencialmente y la velocidad de incremento es progresivamente más grande de un suelo a otro, cuando se incrementa la capacidad de intercambio catiónico o superficie específica. Hay un ligero incremento en la relación de permeabilidad, cuando se incrementa el Mg intercambiable pero este incremento es muy pequeño comparado con el Na, intercambiable. (Brooks, 2; Reeve, 22).

El contenido de Na intercambiable si excede de 10 a 150/o de la capacidad de intercambio catiónico, causarán dispersión en las partículas del suelo y por lo tanto disminución en la conductividad hidráulica. Los compuestos de Calcio pueden ser precipitados en los sub-suelos de las regiones áridas y sub-áridas, formando caliches que pueden inhibir drásticamente el movimiento del agua. Donde tales caliches estén cerca a la superficie del suelo, la escorrentía puede desarrollarse bajo irrigación. (Horn, 14).

Los óxidos de hierro, cementan en partículas más finas formando agregados y/o forman revestimiento en agregados que previenen su dispersión. La alta conductividad de muchos suelos tropicales, es resultado del alto contenido de hierro. Sin embargo bajo ciertas condiciones, compuestos de hierro pueden ser lixiviados y forman panes de hierro los cuales son poco permeables. (Horn, 14).

13) Anisotropía del suelo.

Por la especial naturaleza del proceso mismo de sedimentación que actúa en la formación de muchos suelos y materiales acuíferos, los sedimentos son anisotrópicos, con respecto a la conductividad. Por lo tanto, la anisotropía puede influir en determinaciones de conductividad, ya que la velocidad del flujo horizontal no es igual a la velocidad del flujo vertical. Se pueden utilizar muestras para medir conductividad en cualquier dirección de acuerdo con la dirección en que sean tomadas dichas muestras (Luthin, 19).

Factores que afectan el Fluído.

Dentro de los principales factores que afectan el fluido y hacen variar la conductividad se encuentran:

1 Composición y Naturaleza del Fluido.

La composición y naturaleza química de la solución usada para la medida de la conductividad es bastante importante. El agua destilada debería usarse pocas veces excepto para propósitos especiales. La conductividad tiende a cambiar cuando la concentración de soluto tiende a ser similar en concentración y composición a la del suelo. (Klute, 15).

La calidad del agua, especialmente en cuanto a salinidad o alcalinidad, tiene un marcado efecto en la conductividad. Cualquier cambio en la viscosidad del fluido también influye en el valor de conductividad. Los cambios químicos en el agua, pueden afectar la conductividad, sin que se altere la viscosidad. Si se añade una pequeña cantidad de cloruro de sodio en el agua del suelo, aún en cuanto sea insuficiente para que se note el cambio en la viscosidad, la estructura del suelo puede resultar afectada, al grado de reducir la conductividad hidráulica. (Estados Unidos, 6).

b. Viscosidad del Fluido.

La viscosidad es la propiedad del fluido en virtud de la cual ofrece resistencia a las tensiones de cortadura. La viscosidad de un gas es directamente proporcional a la temperatura, mientras que la viscosidad de un líquido es inversamente proporcional a la temperatura (Streeter, 27).

La conductividad hidráulica es inversamente proporcional a la viscosidad, debido a que a mayor viscosidad hay mayor resistencia al paso del fluido por los poros, y por lo tanto la conductividad disminuye.

III. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la ciudad de Palmira (Valle) y se efectuó en dos etapas:

A. Construcción de una batería de permeámetro de cabeza constante la cual se realizó en los talleres de Maquinaria Agrícola, y

B. Determinaciones, de algunas propiedades físicas del suelo, para hacer comparaciones estimativas con los valores obtenidos en el permeámetro.

Los pasos que se siguieron para realizar dichas determinaciones fueron:

a. Toma de muestras indisturbadas.

Estas muestras fueron recolectadas en suelos del municipio de Palmira, que posee según registros del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), las siguientes condiciones climatológicas promedias desde 1930 a 1972, así:

Precipitación anual	1.018.30	m.m.
Evaporación anual	1.532.65	m.m.
Temperatura media anual	23,73	°C
Humedad relativa	71,32	o/o
Brillo solar	48,83	o 5,89 horas
Velocidad del viento	1,41	m./seg.

- b. Determinación de la Conductividad Hidráulica.
- c. Determinación de la humedad en el Punto de Saturación.
- d. Determinación de la Densidad Aparente.
- e. Determinación de la Textura.
- f. Determinación de la Densidad Real.
- g. Análisis Estadístico.

A Construcción de la Batería de Permeámetro de Cabeza Constante.

Dicho aparato se construyó en esta Facultad y los planos aparecen en la figura 1 y 2. En la construcción los materiales que se emplearon fueron los siguientes;

- 2 Láminas de Aluminio de 1,5 m.m.
- 12 Metros de ángulo de hierro de 1/8 x 3/4 de pulgada
- 25 Metros de ángulo de aluminio de 3/4 x 1/16 de pulgada
- 10 Cartones de sintesolda
- 1 Metro de Aluminio de "T" de 1/16 x 1 pulgada
- 1 Metro² de vidrio de 4 m.m.
- 1/2 Metro² de malla de aluminio de 20 huecos.
- 100 Tornillos de aluminio de 1/4 x 1/2 de pulgada
- 1 Metro de aluminio redondo de 3/4 de pulgada.

Los materiales empleados tuvieron un costo aproximado de mil quinientos pesos.

B Recolección de las muestras indisturbadas.

Las muestras fueron recolectadas en suelos de este municipio y se escogieron de 10 sitios para hacer dicha labor. Los sitios escogidos fueron:

Se tomaron 3 sitios de suelos livianos, los cuales han tenido diferente manejo para suelos pesados se siguió el mismo criterio de los livianos, y fueron también 3 sitios. En los suelos medianos se escogieron con el mismo criterio de los anteriores, pero acá se tomaron 4 sitios con el fin de tener información más detallada de estos suelos.

Las muestras de suelo se tomaron en el campo con un barreno diseñado y construido en la Facultad y descrito por Roldán (24), para recolectar núcleos de suelos sin disturbar. En cada sitio se tomaron 10 muestras de la primera capa. Los cilindros tienen unas dimensiones de 10 cms., de alto por un diámetro interno de 8,1 cm. en hierro galvanizado.

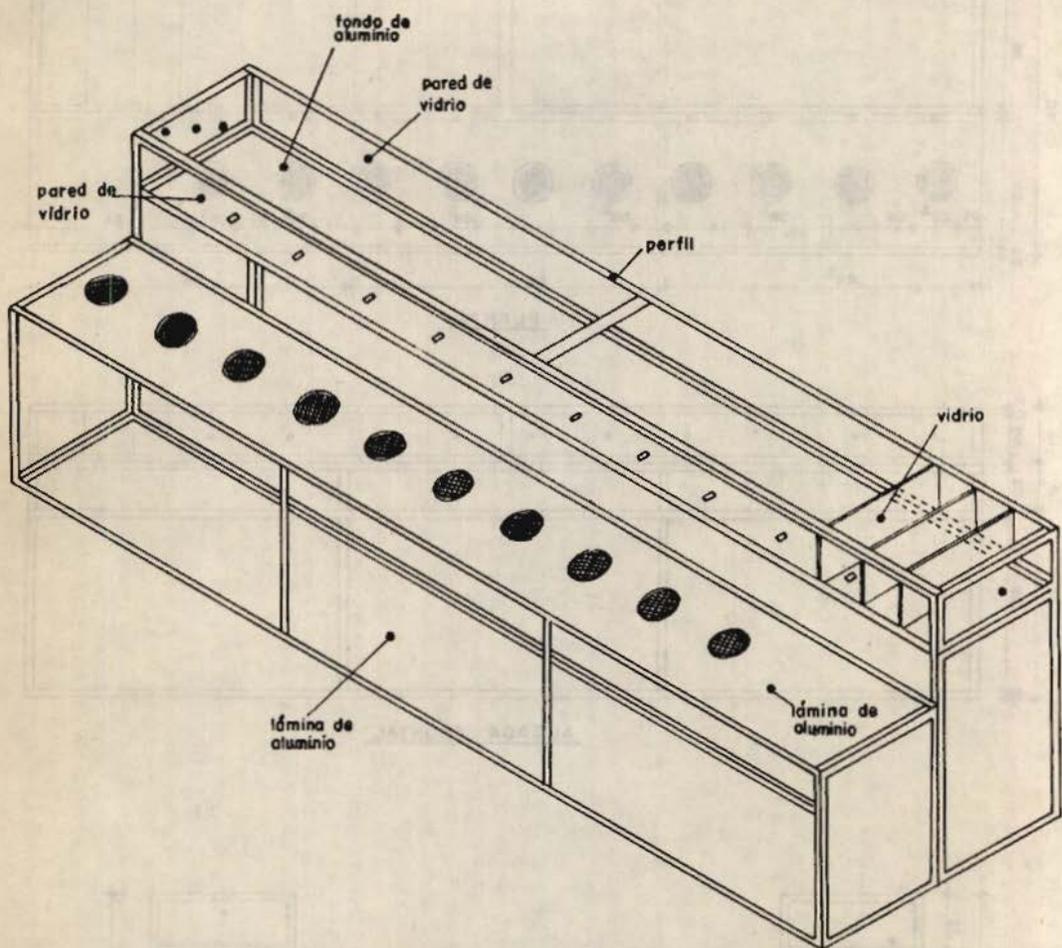


FIG. Nº 2 - PERSPECTIVA AXONOMETRICA DEL PERMEAMETRO

La metodología y materiales empleados para la toma de las muestras se siguió la que describe Ruíz (25). Pero en este trabajo no se hizo calicata, debido a que no se tomaron muestras en el sub-suelo. Además, tampoco hubo necesidad de papel de aluminio debido a que no se necesitó conservar la humedad con la cual fué tomada la muestra.

C Determinación de la Conductividad Hidráulica.

Para determinar esta propiedad física del suelo se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1 Preparación de las muestras.

La preparación de las muestras consistió en colocar una muselina en la parte inferior de la muestra y fijarla al cilindro por una banda de caucho, cuyo objetivo era servir de soporte al núcleo de suelo contenido en el cilindro. Inmediatamente después las muestras se colocaron en una bandeja con una lámina de agua de 7.5 cm. de profundidad durante 24 horas con el fin de obtener su saturación.

2 Montaje de las muestras.

Luego de haber transcurrido las 24 horas se procedió a colocar un papel filtro en la parte superior de la muestra con el objeto de evitar el daño de la estructura del suelo por el derrame del agua en el permeámetro. Inmediatamente después se colocó un cilindro de las mismas dimensiones del que contiene la muestra, en la parte superior de la muestra y se selló con una banda de caucho de 0,5 cm. de ancho para evitar pérdidas de agua por la unión. Este segundo cilindro está dotado de un tubo que atraviesa la pared del cilindro y sirve de acceso del agua del tanque del permeámetro; la conexión entre este cilindro y el tanque se hizo con una manguera de 1/8 de pulgada. A cada manguera se adaptó una pinza de presión para controlar el paso del agua desde el tanque al cilindro.

Después de haber realizado el paso anterior, todo el conjunto se trasladó a la batería del permeámetro, en donde se conectó con el tanque que se encontraba con agua desmineralizada. La cabeza de agua se mantenía constante, haciendo uso de un orificio de alivio del exceso de agua. La alimentación del tanque se hacía desde un recipiente plástico que contenía el agua desmineralizada usada en el ensayo.

3 Evaluación de la Conductividad Hidráulica.

Cuando las muestras se encontraban montadas en el permeámetro se abrían las pinzas que impedían el paso del agua hacia cada una de las muestras, y el agua percolada que salía de cada muestra se recolectaba en una probeta que posee un embudo para evitar pérdida del agua.

Se midió la cabeza hidráulica de cada muestra, con un calibrador (Nonio Vernier). Dicha medida se determinó así: Se midió en el cilindro que contenía el agua, la altura a la cual llegaba el agua, y luego restando de 20 cm. que es la altura de los dos cilindros se obtuvo dicha cabeza.

En un tiempo dado se permitió el paso del agua a través del núcleo durante el tiempo necesario para que la cantidad de percolado tomara valores constantes.

Después de lograr la estabilización se procedió a recolectar 100 m.l. de agua en la probeta y por medio de un cronómetro se midió el tiempo que se empleaba en recolectar dicho volumen de agua.

Por medio de un termómetro se determinó la temperatura del agua en el tanque con el fin de hacer la corrección de la conductividad hidráulica.

4 Cálculo de la Conductividad Hidráulica.

Empleando la fórmula:

$$K = \frac{Q.L.}{t.A. \Delta H}$$

Donde la terminología de la fórmula ya ha sido descrita anteriormente, pero para determinaciones de conductividad hidráulica en este aparato hay dos constantes que son:

$$A = 51,53 \text{ cm.}^2$$

$$L = 10,00 \text{ cm.}$$

Después de aplicar la fórmula anterior se efectuó la corrección de la conductividad hidráulica para expresarla a 20°C y no a la temperatura en que se realizó el ensayo.

D Determinación de la Humedad en el punto de Saturación.

Posteriormente de haber realizado la prueba de conductividad hidráulica se pesaron las muestras y se sometieron al secamiento, por espacio de 72 horas, a una temperatura de 110°C.

Y luego aplicando la fórmula:

$$\text{o/o H.P.S.} = \frac{W_1}{W_2} \cdot 100^*$$

W_1 = Peso del agua que contenía la muestra

W_2 = Peso del suelo seco a la estufa a 110°C durante 72 horas.

E Determinación de la Densidad Aparente.

* Información personal del Dr. Manuel Grillo F.

La determinación de la densidad aparente se llevó a cabo por medio del método del núcleo, descrito por Ruíz (25).

F Determinación de la Textura.

La metodología empleada aquí es la descrita por el Manual de Laboratorio de suelos (González, 11).

G Determinación de la Densidad Real.

El principio básico para esta determinación fué el descrito por el Manual de Laboratorio de Suelos (González 11). Pero con la siguiente variación: En vez de usar el pignómetro, se utilizó un balón de 250 ml., que se conectó a una batería de 6 cupos, para que por medio de un extractor, se le sacara todo el aire a la muestra lo cual se realizaba en un tiempo aproximado de 20 minutos.

H Análisis Estadístico.

El criterio para la determinación de los 10 sitios donde se tomaron las 100 muestras fué el relacionado con su textura y manejo de suelos con el propósito de tener una variación amplia de valores de la conductividad hidráulica y así poder hacer las comparaciones de conductividad con cada una de las otras propiedades físicas de los suelos ensayados.

Las comparaciones de los valores de conductividad obtenidos, con los valores de las propiedades físicas se hicieron usando los valores promedios de cada uno de los sitios escogidos para este ensayo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

Como se anotó anteriormente, el propósito principal del presente trabajo, fué la construcción de una batería de permeámetro para hacer evaluaciones de la conductividad hidráulica en el Laboratorio con muestras sin disturbar. El citado aparato fué construído basándose en el principio básico del permeámetro de carga fija (Véase figura 3).

La batería de permeámetro fué construída para la evaluación simultánea de 10 muestras, las cuales trabajan independientemente. La cabeza hidráulica (ΔH) se determina restando de 20 cms. la profundidad de la lámina de agua en el cilindro conectado al tanque del permeámetro. La cabeza (ΔH) puede variarse seleccionando los orificios de alivio que se encuentran en el extremo del tanque.

Con el fin de poder hacer una justificación de la metodología empleada y de verificar la confiabilidad de la batería de permeámetro construído, se hizo una comparación de conductividad hidráulica y varias propiedades físicas que afectan el valor de la conductividad hidráulica.

Las comparaciones de estos valores se hicieron con los promedios dados por las 10 muestras de cada sitio, y su relación se representa gráficamente.

a) La relación de conductividad hidráulica y densidad aparente o de volúmen, nos muestra claramente la tendencia que tiene la conductividad a disminuir gradualmente con los incrementos de la densidad aparente. Debido a ello suelos con una alta densidad aparente, tendrán una conductividad muy baja en relación a suelos con una baja densidad aparente. Debido a que la textura de las muestras fué relativamente la misma, la variación de la densidad aparente se pudo deber al manejo de dichos suelos.

b) La relación existente entre la conductividad hidráulica y la porosidad total del suelo, para las muestras estudiadas, nos muestra una disminución de la conductividad hidráulica hasta aproximadamente un 47o/o de porosidad total, está asociado con un mayor volúmen de poros que transmiten el fluido.

c) La relación que guarda la conductividad con el porcentaje de humedad en el punto de saturación, se ve la notoria disminución de dicha propiedad física con el suelo, cuando se incrementa los valores del porcentaje de humedad en el punto de saturación. Este efecto puede deberse al grado de expansión de los cristales de arcilla al admitir moléculas de agua en sus micelas. Esta expansión reduce el espacio libre para transmitir el fluido.

d) La relación que existe entre la conductividad y el porcentaje de arcilla se comporta similarmente a la densidad aparente, disminuyendo gradualmente y tendiendo a la horizontalidad de la curva. Como en el caso anterior, el grado de expansión de las arcillas al humedecerse puede ser la causa en la reducción de los valores de conductividad hidráulica. También existe una relación conocida de mayor número de microporos al aumentar el contenido de arcilla.

Las relaciones encontradas entre conductividad hidráulica y las propiedades físicas determinadas, se ajustan a la información existente al respecto, indicando el grado de confiabilidad de los valores de conductividad obtenidos con la metodología empleada.

V. CONCLUSIONES

Después de observar las relaciones existentes entre la conductividad hidráulica y las demás propiedades físicas del suelo estudiadas aquí, tales como densidad aparente, porosidad, total, porcentaje de arcilla y porcentajes de humedad en el punto de saturación, las cuales muestran una tendencia normal de las diferentes curvas, podemos concluir que el principio del permeámetro de cabeza constante aplicado para construir la batería de permeámetro en este trabajo, quedó bien aplicado y por lo tanto dicha batería de permeámetro es digna de confiar para hacer evaluaciones de conductividad en suelos saturados en el laboratorio.

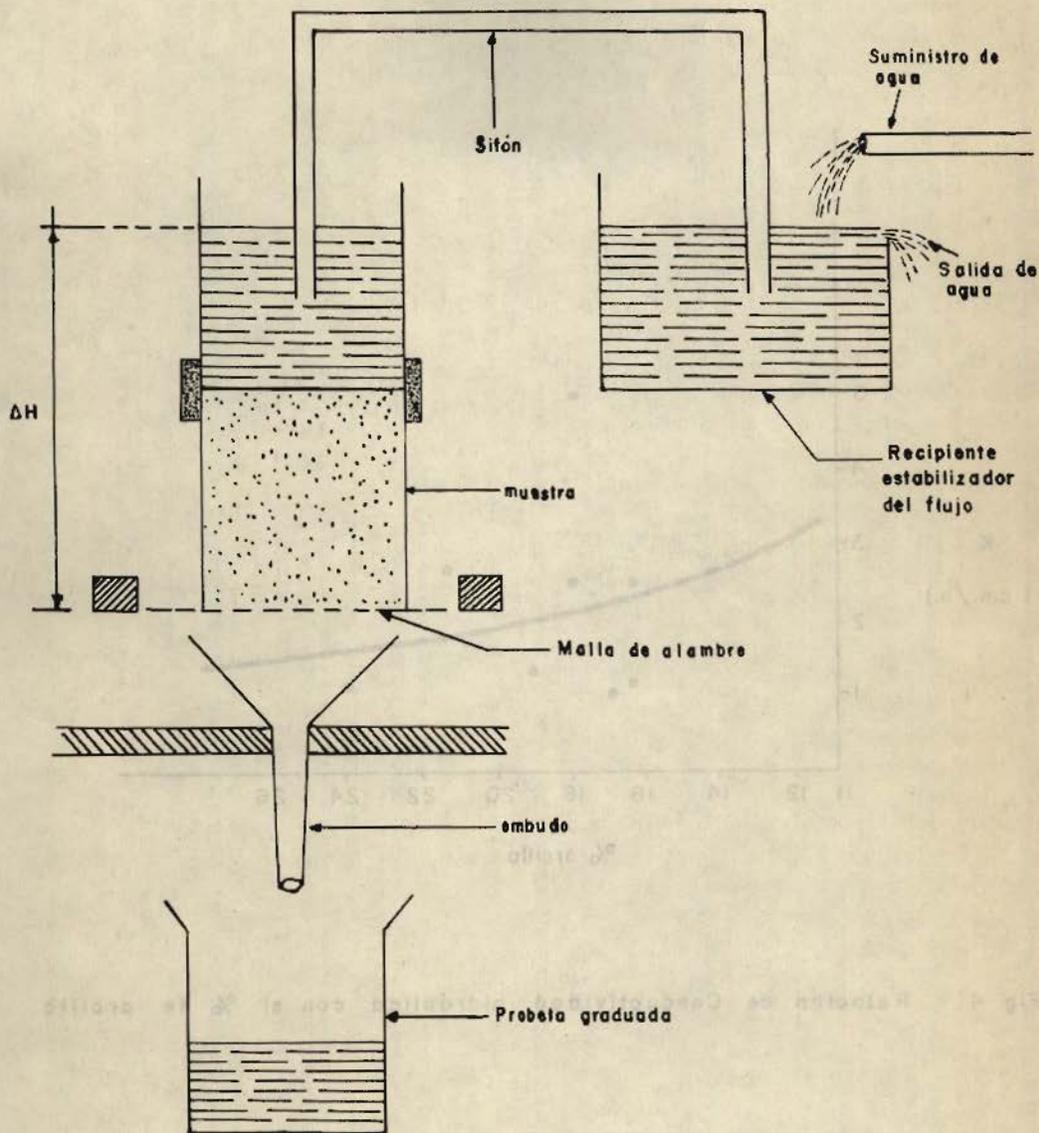


FIG. Nº 3 - PRINCIPIO DEL PERMEAMETRO DE CABEZA CONSTANTE.

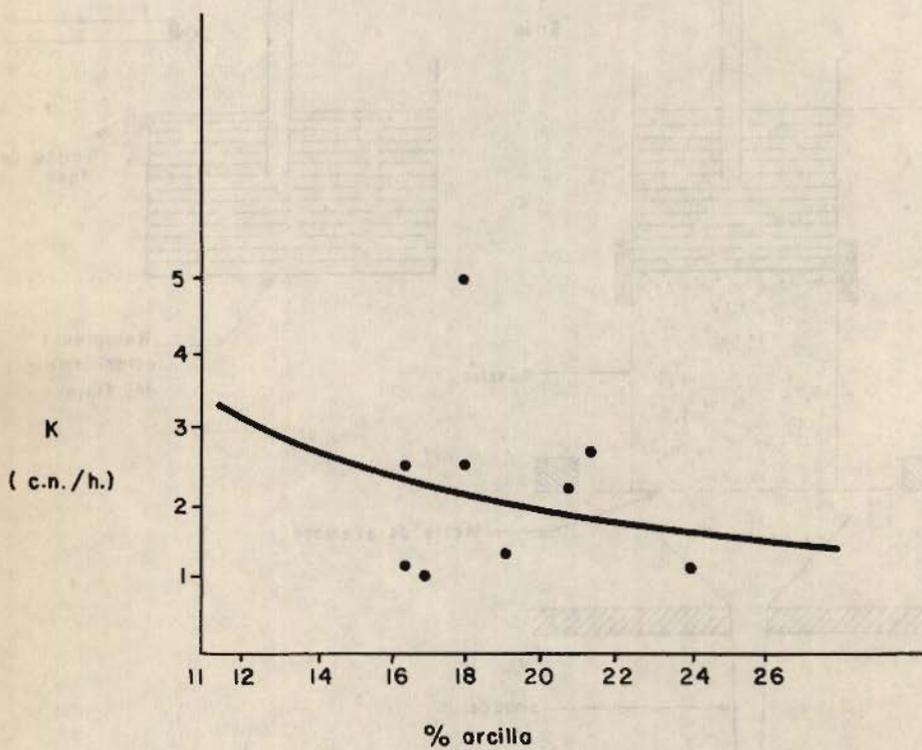


Fig. 4: Relación de Conductividad hidráulica con el % de arcilla.

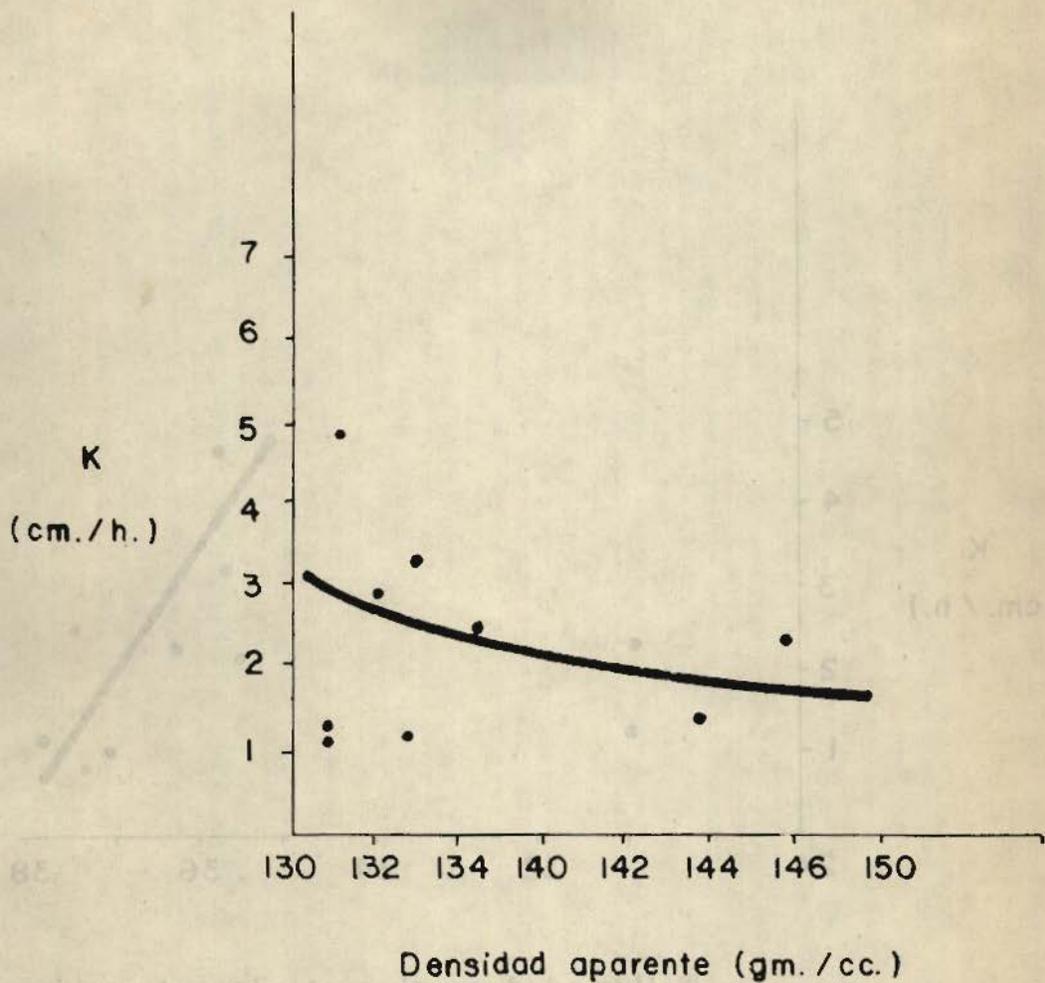


Fig. 5.- Relación de Conductividad hidráulica con la densidad aparente.

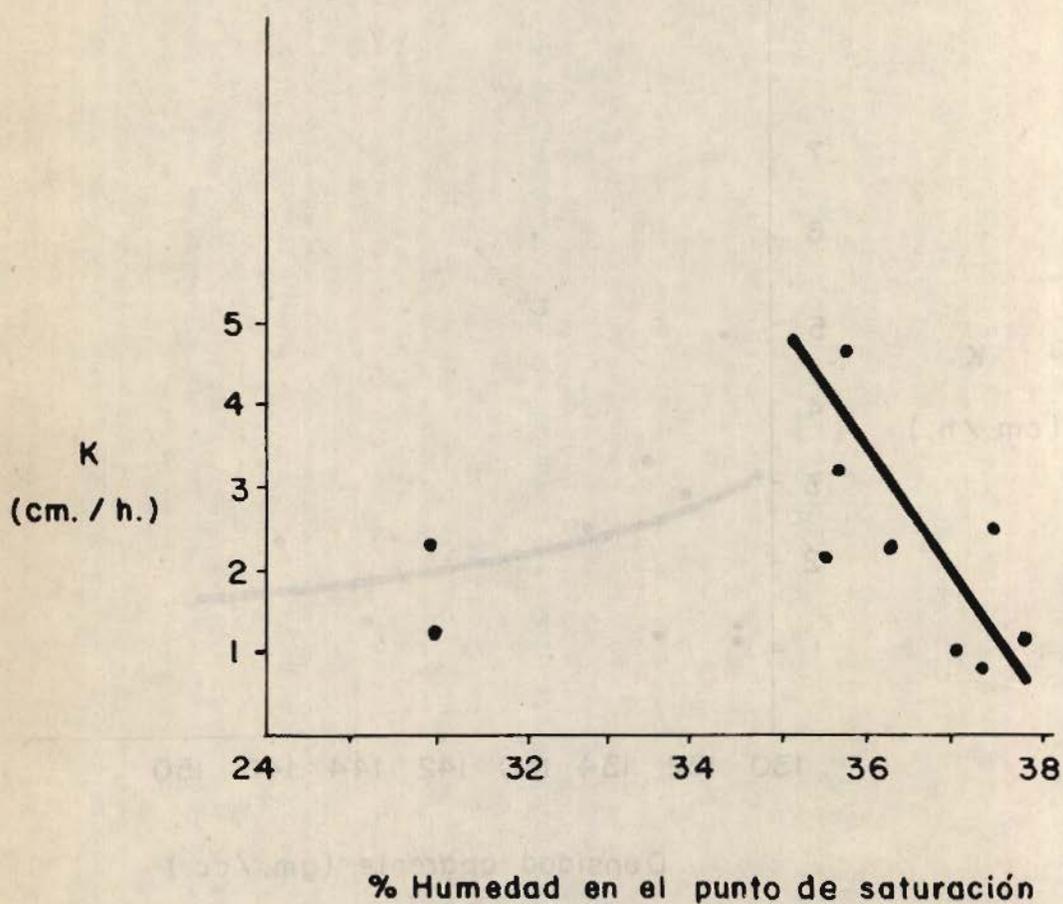


Fig. 6.- Relación de Conductividad hidráulica con el % de Humedad en el punto de Saturación.

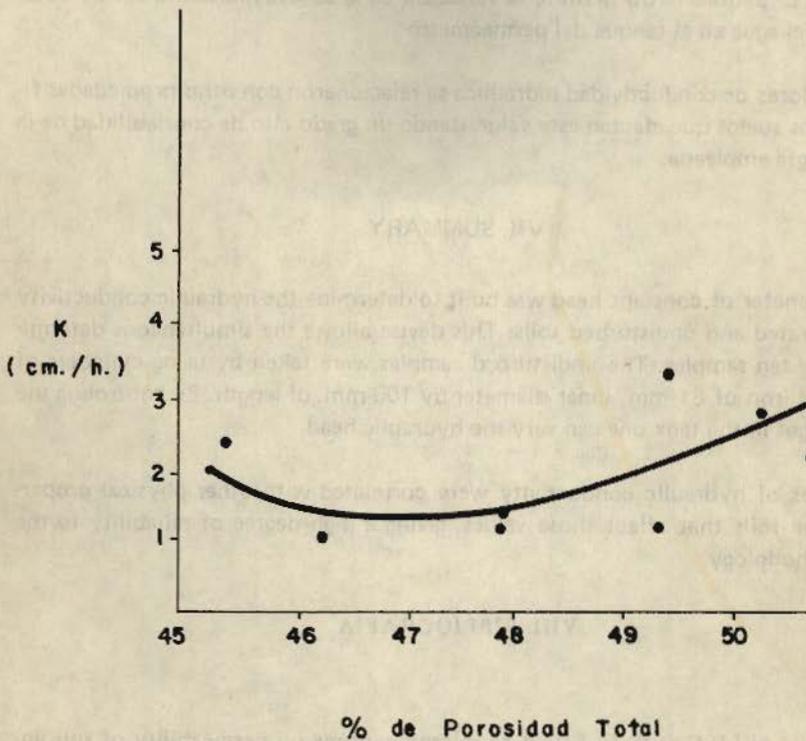


Fig. 7: Relación de la Conductividad hidráulica con el % de Porosidad Total.

VI. RESUMEN

Se construyó un permeámetro de cabeza constante para determinar la conductividad hidráulica en suelos saturados no disturbados. El permeámetro permite la determinación simultánea de 10 muestras. Las muestras no disturbadas se obtuvieron con cilindros de hierro galvanizado de 8,1 cm. de diámetro interno y 10 cm. de altura. El permeámetro permite la variación de la cabeza hidráulica controlando la altura del agua en el tanque del permeámetro.

Los valores de conductividad hidráulica se relacionaron con otras propiedades físicas de los suelos que afectan este valor, dando un grado alto de confiabilidad de la metodología empleada.

VII. SUMMARY

A permeameter of constant head was built to determine the hydraulic conductivity in unsaturated and undisturbed soils. This device allows the simultaneous determination for ten samples. The undisturbed samples were taken by using cylinders of galvanized iron of 81 mm. inner diameter by 100 mm. of length. By controlling the water height in the tank one can vary the hydraulic head.

The values of hydraulic conductivity were correlated with other physical properties of the soils that affect those values, giving a high degree of reliability to the used methodology.

VIII. BIBLIOGRAFIA

1. ALLISON, L. E. Effect of microorganisms on permeability of soil under prolonged submergence. *Soil Sci.* 63:439 - 450. 1947.
2. BROOKS, R.H., BOWER, C.A., and REEVE, R.C., The effect of various exchangeable cations upon the physical condition of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 20:325-327. 1956.
3. BOUWER, H. Planning and interpreting soil permeability measurements. *Journal of the irrigation and drainage division ASCE.* 95(IR3); 391-402. 1969.
4. COLMENARES, J. Relación suelo-agua-planta. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Palmira 1973 sp. (Mimeografiado).
5. CORREA, A. ESPAÑA. J.L. Clasificación de las tierras para riegos y drenajes del sector Montería-Cereté-San Carlos. Colombia Ministerio de Hacienda, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Volumen VI No. 4. 1970 p.p. 9,20-23,32,33.

6. ESTADOS UNIDOS, SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS. Principios de avenamiento o drenajes. Mexico, Editorial Diana, 1972 pp. 32-33. V.-lo.
7. EDMINSTER, T.W. y SCHILFGGARDE, J. VAN. Problemas técnicos y principios de desagüe. In. Dpto. de Agricultura de Estados Unidos. Agua: su aprovechamiento en la agricultura, Trad. de la ed. Inglesa por J. Meza Nieto. México, Editorial Herrero, 1965 pp. 537-538.
8. FORSYTHE, WARREN M. Manual de Laboratorio de física de Suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. Centro Tropical de enseñanza e investigación. Turrialba Costa Rica. 1972. pp. 209-216.
9. GARCIA RAMIREZ G. y GONZALEZ CAMARGO H. Características generales sobre suelos pesados. Bogotá. Instituto Colombiano de la Reforma Agraria. 1972 pp. 11,54,56.
10. GOMEZ ZAMBRANO, JAIRO. Determinación de la conductividad hidráulica equivalente para el esquema de líneas equipotenciales paralelas con un flujo horizontal. Tesis. Chapingo Mexico, Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Post-graduados, 1974. pp. 7-10.
11. GONZALEZ M., ADEL. Manual de laboratorio de suelos. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agropecuarias Palmira, 1969. 150 p. (Mimeografiado).
12. GRASSI, CARLOS. Riego y drenajes; clases desarrolladas en el primer curso nacional de manejo del riego. Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1966. pp. 471-475.
13. GRILLO F., MANUEL. Conferencias de riegos y drenajes. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agropecuarias. pp. 36-40 (Mimeografiado).
14. HORN, M.E. Estimating soil permeability rates. J. of irrigation and drain. Div. ASCA. 97(IR2): 263-267, 1971.
15. KLUTE, A. Laboratory Measurement of hydraulic conductivity of saturated soil. In. Black, C.A., Methods of soil analysis. Part. 1. Instituto Forland relation and improvement. Vegeningen. The Nétherlans, 1965. pp. 210-211.
16. LAMBE, WILLIAM y WHITMN, ROBERT. Mecánica de suelos. México Limusa-Wiley, 1972. pp. 299-310.
17. LAMBE, WILLIAM. Soil testing for engineers. New York, Wiley Sons, 1951. pp. 54.

- LINSLEY, RAY and FRANZINI, JOSEPH. Water-Resources engineering New York, Mc.Graw-Hill, 1964. pp. 82-83.
9. LUTHIN, JAMES N. Drenajes de Tierras agrícolas; teoría y aplicación Trad. de la ed. Inglesa por A. Blakaller V. California, Limusa Wilcy 1967. pp. 67, 449, 460.
 20. MASON, D.D., LUTZ, J.F., and PETERSEN, R.G., Hydraulic conductivity as related to certain soil properties in a number of great soil groups - sampling errors involved. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 554-561.
 21. PALACIOS VELEZ, OSCAR. Apuntes sobre algunos problemas de drenaje y enclamiento de terrenos agrícolas. Chapingo, México. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Post-graduados, 1969. pp. 236-237 (Mimeografiado).
 22. REEVER, C., BROOKS, R.H., and GSCHWEND, F.B. A comparason of the effects of exchangeable sodium and potassium upon the physical condition of soil. Soil Sc. Soc. Am. Proc. 18:130-132. 1954.
 23. RICHARDS, L.A., La retención y la transmisión del agua en la tierra. In. Dpto. de Agricultura de Estados Unidos. Agua: su aprovechamiento en la agricultura. Trad. de la ed. Inglesa por J. Meza Nieto. México, editorial Herrero, 1965. p. 157.
 24. ROLDAN ARANA, ORLANDA, Estudio del proceso salinización del suelo cuando es afectado por el agua salina freática. Tesis. Palmira. Universidad Nacional, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 1973. pp. 1620 (Mimeografiado).
 25. RUIZ TIRADO, WILSON. Determinación de la retención de humedad del suelo a la capacidad de campo por el método de tanque de arena. Tesis. Palmira, Universidad Nacional. Facultad de Ciencias Agropecuarias. 1973. pp. 14-20 (Mimeografiado).
 26. SEGEREN, W. y TORRES A. DE LA. Conductividad hidráulica Inc. Universidad Nacional Agraria. La Molina. II concurso nacional de drenajes de tierras agrícolas. Tomo I. Perú, s.e., 1969. p-irr. 3.5/1-3.5/39.
 27. STREENTER, VICTOR L. Mecánica de Fluídos. Trad. de la ed. Inglesa por Emilio Romero. España, Editorial Castilla. p. 19.
 28. UHLAND, R.E., Physical properties of soil as modified by crops and management. Soil Sci. Am. Proc. 14: 361-366. 150.