

DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA EN TRES SUELOS DEL ALTIPLANO
DE PASTO

Por

SALOMON CASTILLO BARRERA

II

Tesis de Grado presentada como requisito
parcial para optar al título de
INGENIERO AGRONOMO

Presidente de Tesis

ANTONIO ARIAS HERNANDEZ I.A., M. Sc.

UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS
PASTO - COLOMBIA

1974

HN
631.62
C352
Ej. 1

- II -

"Las ideas y conclusiones aportadas en la tesis de grado, son de responsabilidad exclusiva del autor".

Art. 1o. del Acuerdo No. 324 del 11 de Octubre de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

UNIVERSIDAD DE PASTO	
DEPARTAMENTO DE BIBLIOTECAS	
PASTO - COLOMBIA	
No. <u>16880</u>	Ej. <u>1</u>
Valor <u>\$800 =</u>	Vol. <u> </u>
Fecha <u>27-10-75</u>	Don. <u>x</u>
Fact. <u>Agradecida</u>	Canje <u> </u>
Librería <u>Antar</u>	Cmop. <u> </u>

AL RECUERDO ETERNO DE HELBERT ANDRES, MI HIJO

A LA MEMORIA DE MI MADRE

A LOS ESFUERZOS INCALCULABLES DE MI ESPOSA

A MIS HIJOS

A MI PADRE

A MIS SUEGROS

A MIS CUÑADAS

A MIS FAMILIARES

A MIS AMIGOS

DEDICO

EL AUTOR QUIERE HACER CONSTAR SU AGRADECIMIENTO A TODAS LAS PERSONAS QUE EN UNA U OTRA FORMA CONTRIBUYERON DE MODO ESPECIFICO A LA REALIZACION DEL PRESENTE TRABAJO, ENTRE ELLAS ESTAN :

ANTONIO ARIAS HERNANDEZ I.A., M. Sc.

LUCIO LEGARDA BURBANO I. A., M. Sc.

HERNAN BURBANO ORJUELA I.A., M. Sc.

EFREN CORAL QUINTERO I.A., M. Sc.

MIGUEL VIVEROS ZARAMA I. A.

FRANCISCO CORTES DE LA ESPRIELLA

JOSE D. DELGADO

ROSA C. DE DELGADO

LUCY AGUILERA RIASCOS

FACULTAD DE CIENCIAS AGRICOLAS,

UNIVERSIDAD DE NARIÑO.

CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 Generalidades de la región	3
2.2 Definición de conductividad hidráulica	3
2.3 Factores que afectan la conductividad hidráulica y su determinación	5
2.4 Métodos de laboratorio para medir la conductividad hidráulica	8
2.5 Recomendaciones generales para la operación con el permeámetro de cabeza constante	8
III. MATERIALES Y METODOS	10
3.1 Determinación en el laboratorio	10
3.1.1 Obtención de las muestras de suelo	10
3.1.2 Saturación de las muestras de suelo	11
3.1.3 Acondicionamiento de las muestras para el ensayo	11
3.1.4 Preparación del permeámetro de cabeza cons- tante	11
3.1.5 Colocación de las muestras	11
3.1.6 Medición de la conductividad hidráulica	11
3.1.7 Cálculo de la conductividad hidráulica con permeámetro de cabeza constante	16
3.2 Determinación de algunas propiedades del suelo ..	16
3.2.1 Análisis textural	16
3.2.2 Densidad aparente	16
3.2.3 Densidad de las partículas	23
3.2.4 Porosidad	23
3.2.5 Materia orgánica	23

322.6 Reacción del suelo	23
3.2.7 Determinación del porcentaje de humedad vo lumétrica en el punto de saturación . . .	23
3.3 Análisis estadístico	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSION	25
4.1 Textura	25
4.2 Densidad y porosidad	25
4.3 Materia orgánica	26
4.4 Humedad volumétrica	27
4.5 Conductividad hidráulica	27
V. CONCLUSIONES	55
VI. RESUMEN	56
SUMMARY	57
VII. BIBLIOGRAFIA	58
APENDICE	60

TABLAS

	Pág.
TABLA I. Análisis textural del suelo- Torobajo	29
TABLA II. Análisis textural del suelo - Botana	30
TABLA III. Análisis textural del suelo - Lope	31
TABLA IV. Densidad aparente, densidad de las partículas y porosidad total del suelo - Torobajo	32
TABLA V. Densidad aparente, densidad de las partículas y porosidad total del suelo - Botana	33
TABLA VI. Densidad aparente, densidad de las partículas y porosidad total del suelo - Lope	34
TABLA VII. Materia orgánica y pH del suelo - Torobajo . . .	35
TABLA VIII. Materia orgánica y pH del suelo - Botana	36
TABLA IX. Materia orgánica y pH del suelo - Lope	37
TABLA X. Humedad en el punto de saturación en base gravi- métrica y volumétrica y humedad higroscópica en base gravimétrica del suelo - Torobajo	38
TABLA XI. Humedad en el punto de saturación en base gravi- métrica y volumétrica y humedad higroscópica en base gravimétrica del suelo - Botana	39
TABLA XII. Humedad en el punto de saturación en base gravi- métrica y volumétrica y humedad higroscópica en base gravimétrica del suelo - Lope	40
TABLA XIII. Conductividad hidráulica del suelo - Torobajo .	41
TABLA XIV. Conductividad hidráulica del suelo - Botana . .	42
TABLA XV. Conductividad hidráulica del suelo - Lope . . .	43
TABLA XVI. Valores promedios de los parámetros estudiados.	44
TABLA XVII. Relaciones entre algunas propiedades de los tres suelos estudiados	45

ILUSTRACIONES

	Pág.
FIGURA 1. Mapa del Municipio de Pasto indicando los lugares donde se tomaron las muestras de suelo	12
FIGURA 2. Saturación de las muestras de suelo	13
FIGURA 3. Muestras acondicionadas listas para el ensayo .	14
FIGURA 4. Vista lateral del permeámetro listo para funcionar	15
FIGURA 5. Vista frontal del permeámetro listo para funcionar	17
FIGURA 6. Vista lateral del permeámetro en funcionamiento	18
FIGURA 7. Vista frontal del permeámetro en funcionamiento	19
FIGURA 8. Instrumentos auxiliares utilizados en el ensayo	20
FIGURA 9. Diagrama del sistema de cabeza constante . . .	21
FIGURA 10. Diagrama del permeámetro de cabeza constante .	22
FIGURA 11. Relación de la conductividad hidráulica y la densidad aparente	46
FIGURA 12. Relación de la conductividad hidráulica y el porcentaje de arcillas	47
FIGURA 13. Relación de la conductividad hidráulica y el porcentaje de humedad volumétrica en el punto de saturación	48
FIGURA 14. Relación entre la conductividad hidráulica y el porcentaje de materia orgánica	49
FIGURA 15. Relación entre la densidad aparente y el porcentaje de materia orgánica	50
FIGURA 16. Relación entre la porosidad total y el porcentaje de materia orgánica	51
FIGURA 17. Relación entre la materia orgánica y el porcentaje de arcillas	52
FIGURA 18. Relación entre la densidad aparente y el porcentaje de arcillas	53
FIGURA 19. Relación entre la porosidad total y el porcentaje de arcillas	54

DETERMINACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA EN TRES SUELOS DEL ALTIPLANO DE PASTO (")

Por

SALOMON CASTILLO BARRERA

I. INTRODUCCION

Generalmente se le ha dado especial importancia a los parámetros físicos de riego, descuidándose aquellos relacionados con el drenaje, el cual juega un papel muy importante en el suelo, ya que la eliminación del exceso de agua, ayuda a mantener las condiciones de aireación, lo mismo que la actividad biológica; características éstas indispensables para que se cumplan los procesos fisiológicos relacionados con el crecimiento radical de la planta. Con esta práctica se asegura para los cultivos una mejor absorción tanto de nutrimentos como de agua, lo que traerá consigo un mejor desarrollo radical.

La conductividad hidráulica de los suelos, es una de las propiedades físicas más importantes, por cuanto es indispensable para la planificación y diseño de drenes, incluido el espaciamiento, profundidad y capacidad de ellos. Se hace necesario, por lo tanto, conocer la dinámica del agua en el suelo, para diseñar adecuados sistemas de drenaje.

(") Tesis de Grado presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo, bajo la presidencia de Antonio Arias Hernández I.A., M. Sc.

Los suelos de la Granja Experimental de Botana de la Facultad de Ciencias Agrícolas, afronta en la actualidad graves problemas de carácter hídrico. De allí la necesidad de determinar el comportamiento del agua en el suelo y su relación con algunas de sus propiedades edáficas.

Además, para hacer las comparaciones del caso, se efectuó el mismo estudio en los suelos de Torobajo y la Granja Lope (Sena), lo que permitió tener una visión más amplia sobre estos aspectos edáficos y físicos del Altiplano de Pasto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades de la región

El Altiplano de Pasto está situado en el Departamento de Nariño, sur-oeste de Colombia. El área estudiada se encuentra al pie del Volcán Galeras y su altitud varía entre 2.550 y 2.800 msnm. El área puede ubicarse en la formación del bosque seco montano bajo. La temperatura fluctúa entre 12 y 14°C. La precipitación promedio es de 700 mm (2).

Bueno y Grosse, citados por Escovar, Jurado y Guerrero (7) afirman que el Altiplano está constituido por una mezcla de material volcánico cascajoso. Las rocas eruptivas están representadas por brechas, cantos y bombas andesíticas, cenizas en diferentes grados de compactación y derrames del mismo material ígneo.

Recientes estudios efectuados sobre algunas propiedades físicas de suelos del Altiplano, demostraron que la profundidad del horizonte A no va más allá de los 40 cm; su estructura es granular en el suelo y de bloque en el subsuelo, y su consistencia friable. Se observa un predominio de las arenas y los limos sobre las arcillas, tanto en suelos como en subsuelos. Los valores límites de densidad aparente y porosidad en los suelos $1,23 \text{ g/ml} \pm 0,08 \text{ g/ml}$ y $49,44\% \pm 6,09\%$, respectivamente. De acuerdo al índice de plasticidad, los suelos son en promedio, ligeramente plásticos. El promedio para agregados mayores de 2 mm es de $80,6\% \pm 10,45\%$ en los suelos, y de $64,92\% \pm 22,63\%$ en los subsuelos (7).

2.2 Definición de Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica expresa la habilidad del suelo saturado de permitir el paso del agua. Este valor es un dato útil 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 (8).

Una evaluación del drenaje interno exige el conocimiento previo de las propiedades físicas del suelo, para ello hay que hacer pruebas de laboratorio y entre ellas una de las más importantes es la conductividad hidráulica (4).

Roe y Ayres (17) señalan que la conductividad hidráulica y/o permeabilidad es la capacidad de un suelo para transmitir el agua. La permeabilidad elevada ofrece buen drenaje y cuanto más poroso es un suelo, menos impermeable resulta. También la define como el ritmo de flujo del agua a través de una unidad de superficie transversal bajo una unidad de desnivel o altura.

La conductividad hidráulica de las capas superiores del suelo es el parámetro más importante del mismo en los problemas de drenaje. La necesidad de drenaje es función del volumen de aire disponible en el suelo, pues esta propiedad afecta a la conductividad hidráulica. Un sistema de drenes superficiales se requiere en aquellos suelos en que la conductividad hidráulica desde la superficie hacia abajo es tan baja que impide el funcionamiento de los drenes naturales. Por otra parte, los estratos impermeables afectan el patrón de flujo en los drenes. Además, es evidente que el diseño de sistemas de drenaje requiere la evaluación de la conductividad hidráulica del perfil del suelo (1).

En el suelo el agua fluye a través de los poros interconectados que resultan de la disposición de las partículas individuales y de la agregación de las mismas. Para ello se requiere cierta energía y capacidad del medio poroso para transmitir agua (11).

Los datos de conductividad hidráulica aportan una información indirecta acerca de la estructura y estabilidad de los agregados del suelo. Ellos, son usados en los análisis de cualquier suelo saturado por un sistema de flujo de agua, ya sea para propósitos agrícolas o de Ingeniería (14).

La velocidad de movimiento del agua a través del suelo es proporcional a su fuerza motora y se expresa por la ecuación $V = K \cdot i$. En donde "i" es la fuerza motora y "K" el factor de proporcionalidad de esta ecuación llamado conductividad hidráulica, pudiendo tomar en los suelos no saturados el término de conductividad capilar. 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 resistencia al flujo ejercida por el suelo (6, 16). 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.

2.3 Factores que afectan la conductividad hidráulica y su determinación

Israelsen y Hansen (13) indican que la longitud y el espesor de los agregados influye sobre la conductividad hidráulica, pudiendo cambiar ésta, cuando se producen roturas, grietas o fisuras en un estrato. La permeabilidad de un estrato arenoso es por lo general mayor cuando los gránulos son redondos y de un tamaño aproximadamente homogéneo, que cuando su forma es irregular y tienen tamaños muy variados. Las partículas aplastadas tienden a soldarse reduciendo la conductividad hidráulica.

Por su parte, Roe y Ayres (17) expresan que la textura es uno de los principales factores que determinan la permeabilidad del suelo y su susceptibilidad al drenaje. Los granos del suelo, al agruparse en varias formas, le dan estructuras, que determinan el tamaño de los poros del suelo y, por consiguiente, influyen en el drenaje de los mismos.

A su vez Grassi (11) menciona otros factores que afectan la permeabilidad; entre ellos están : Interacción del fluido con el medio poroso (características mineralógicas de las partículas y la calidad del agua que percola a través del suelo); obturación de los poros (debido al aire atrapado y destrucción de los agregados); microorganismos (su multiplicación y la consiguiente descomposición de la materia orgánica puede obturar

los poros); rajaduras y cavidades (resultante de la actividad de las lombrices y descomposición de raíces); heterogeneidad del medio poroso (variaciones en las características físicas de distintos estratos conduce a diferencias en la permeabilidad) y anisotropía del medio (resulta en notables diferencias entre la permeabilidad horizontal y vertical).

El valor de la conductividad hidráulica a su vez cambia en función del tiempo, dado que los factores que actúan son dinámicos.

Luthin (15) complementa lo anteriormente tratado con estos conceptos : los medios porosos se pueden clasificar dentro de dos amplias clases, que son 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 con problemas de drenaje, se pueden clasificar como materiales inestables, pero es útil considerar ambos factores.

Es de conocimiento común que existe una acción recíproca entre el agua y el suelo y, por lo tanto, la conductividad hidráulica de éste no es constante. Esta acción depende principalmente de la constitución mineralógica de las partículas del suelo. La cantidad del 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 interviene en la conductividad hidráulica de los suelos afectan las propiedades de él (15).

La conductividad hidráulica de suelos continuamente sumergidos, generalmente decrece ligeramente al principio, pero después se incrementa en forma apreciable cuando el aire encerrado sale en forma de solución en el agua de percolación. Ensayos conducentes a determinar las causas de disminución de la conductividad bajo prolongada sumersión no dieron evidencia en deterioro de los agregados del suelo, debidas a causas físicas.

La disminución de la conductividad hidráulica también puede ser debida a una obturación microbial; los poros del suelo probablemente

se taponan por el incremento en el número de los microorganismos y sus resíduos como algunos polisacáridos u otros materiales gomosos. Al existir una reducción de la conductividad causada en parte a la desintegración de los agregados del suelo, la dispersión se cree que es debida a causas biológicas, ésto es, al ataque de microorganismos a materiales orgánicos. Los suelos esterilizados en el laboratorio con gas de Oximetileno no presentaron cambios apreciables en sus propiedades físicas (14).

La presencia de grietas y hoyos en el centro de las muestras de suelo son un problema adicional en la determinación de la conductividad. 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. Si es negativa, tales estructuras se desecarán, si ellas tienen acceso a la superficie del suelo y causarán una disminución en el flujo del agua. El influjo de la corriente de agua a través de las grietas en una muestra de suelo para ser evaluada en el laboratorio, puede ser representativa del comportamiento del suelo en el campo. 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 (14).

La composición y naturaleza química del agua 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 del soluto se asimila en concentración y composición al agua del suelo. La calidad del agua transmitida, 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 viscosi-

dad, la estructura del suelo puede resultar afectada, al grado de reducir la conductividad hidráulica (14).

2.4 Métodos de laboratorio para medir la conductividad hidráulica

Grassi (11) indica que se han desarrollado diversos tipos de permeámetros, a saber :

Permeámetro de cabeza constante : En el permeámetro de cabeza constante, se mide el volumen de agua que filtra en un determinado tiempo, a través de una muestra sobre la cual se mantiene un nivel de agua constante. Resultan variantes en las características del permeámetro, según se empleen muestras disturbadas o sin disturbar.

Permeámetro de cabeza variable : Para este permeámetro, el volumen de abastecimiento de agua se encuentra depositado en un tubo de diámetro menor, en el cual el nivel descenderá una distancia h , en un tiempo t .

Según Gavande (19) la conductividad hidráulica puede medirse en cilindros de suelo sin alterar, obtenidos en el campo y llevados al laboratorio. Todos los métodos requieren que se mida el agua que fluye, el tiempo de flujo y el área donde tiene lugar el flujo. La muestra debe tomarse, transportarse y preservarse de tal manera que la estructura natural no se disturbe. Una vez tomadas las muestras, se retienen en los cilindros y, en el laboratorio, se hacen las mediciones de la conductividad hidráulica.

2.5 Recomendaciones generales para la operación con el permeámetro de cabeza constante

El material filtrante que se emplee para sostener la muestra, debe ser tal que no aumente significativamente las pérdidas de carga a través del mismo. El error de muestreo puede ser muy importante, ya que restos de raíces, piedras, etc., afectan notablemente los resultados de una

muestra que es de reducido volumen. El agua usada en el ensayo, en lo posible, no deberá estar saturada con aire de materiales de suspensión y microorganismos (11).

El permeámetro de cabeza constante mide solamente la conductividad saturada y se necesita un equipo más complicado para determinar su valor a diferentes niveles de saturación (6).

En el campo se pueden introducir al suelo cilindros de pared delgada, para obtener muestras con estructuras sustancialmente inalterada, esos cilindros sirven como recipiente para las muestras al hacer la determinación de la conductividad (14).

III. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Química y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño y se efectuó en dos etapas :

- A. Determinación de la conductividad hidráulica en el laboratorio
- B. Determinación de algunas propiedades físicas de los tres suelos estudiados, para hacer comparaciones estimativas con los valores obtenidos en el permeámetro de cabeza constante.

3.1 Determinación en el laboratorio

Para tal fin se emplearon muestras de material del estrato, obtenidas sin disturbar, nueve por sitio para un total de veintisiete, haciendo uso del aparato denominado permeámetro de cabeza constante (Figuras 9, 10).

3.1.1 Obtención de las muestras de suelo

Las muestras fueron tomadas en tres suelos del Altiplano de Pasto (Figura 1) :

- 1. Suelo Botana : Granja Experimental de Botana (Universidad de Nariño)
- 2. Suelo Lope : (Granja Experimental del Sena)
- 3. Suelo Torobajo : (Universidad de Nariño)

Se utilizaron cilindros de PVC con dimensiones de 7 cm de alto por un diámetro interno de 5,5 cm. En el campo, y con ayuda de un mazo se extrajo la muestra, procurando que en esta operación no se disturbe el material.

3.1.2 Saturación de las muestras de suelo

Para lograr este objetivo se puso en la parte inferior del cilindro, una muscelina la que a su vez se fijó al cilindro por medio de una banda de caucho. Luego se colocó todo el conjunto de muestras en un recipiente que contenía una lámina de agua de 3,5 cm por lapso de 48 horas, para lograr así una completa saturación (Figura 2).

3.1.2 Acondicionamiento de las muestras de suelo para el ensayo

Obtenida la saturación de los núcleos de suelo, se colocó en la parte superior de los mismos un papel filtro de 6 cm de diámetro. Seguidamente se procedió a acoplarle un cilindro vacío de las mismas dimensiones del que contenía la muestras y en la unión se adicionó cinta aislante plástica con el fin de evitar pérdidas de agua por ese sitio (Figura 3).

3.1.4 Preparación del permeámetro de cabeza constante

Para la alimentación del tanque se hizo uso de una lla-ve de agua corriente. La cabeza de agua se mantuvo constante, por medio de un orificio de alivio con el fin de lograr que el agua circulara hacia las muestras; con anterioridad se sebó cada tubo PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada (9 en total). En estas condiciones el permeámetro se encontraba listo para su funcionamiento (Figuras 4, 5).

3.1.5 Colocación de las muestras

Logrado el conjunto de muestras para ser operadas en el permeámetro, se trasladaron al aparato (Figura 5).

3.1.6 Medición de la conductividad hidráulica

Una vez conectadas las muestras al permeámetro (Figuras 6, 7), se dió salida al agua para que llegara a cada una de las muestras.

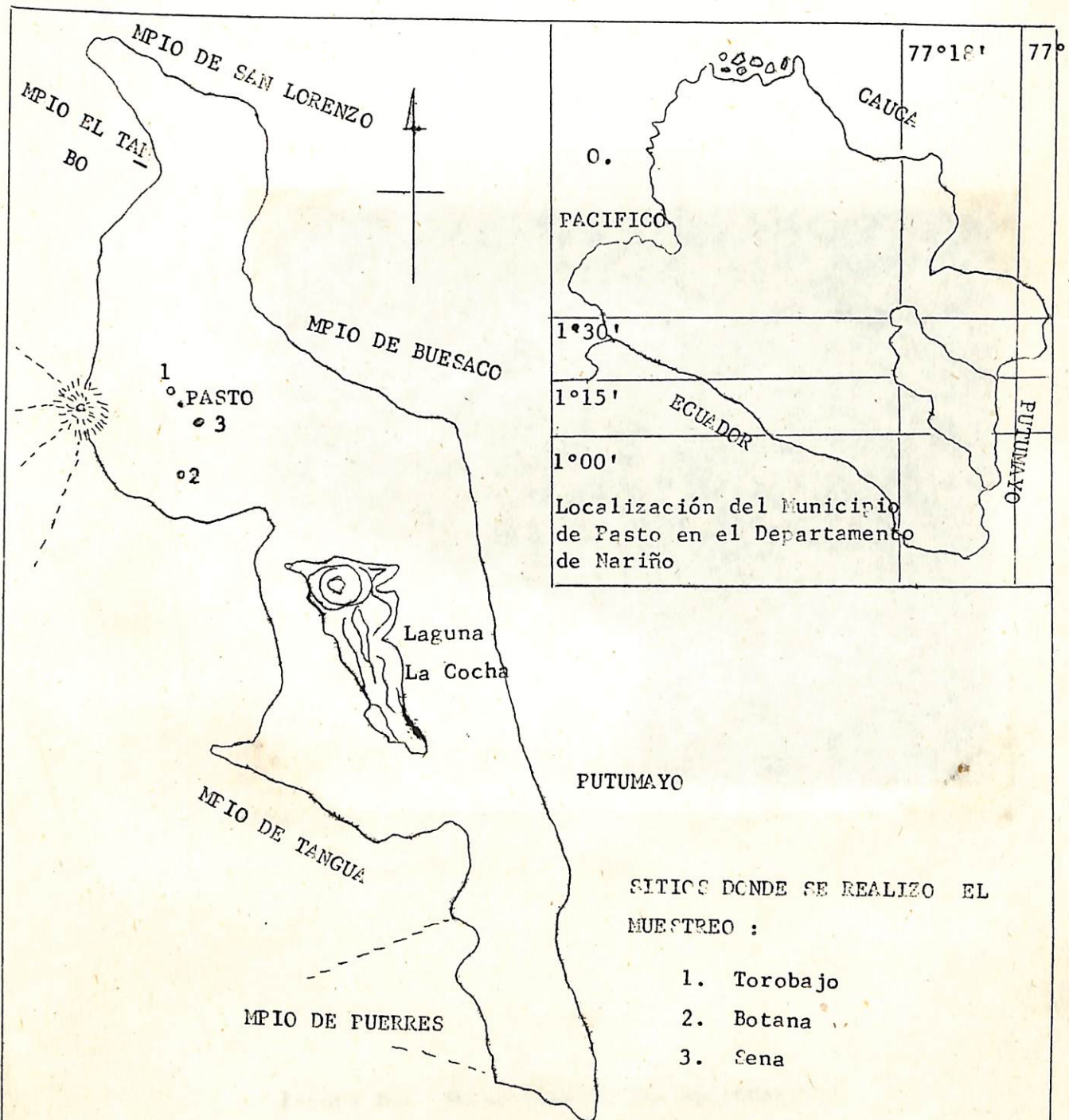


Figura 1 Croquis del Municipio de Pasto indicando los lugares donde se tomaron las muestras

(Tomado de Chaves (5))



Figura 2 : Saturación de las muestras.

Foto : J. Molina J.

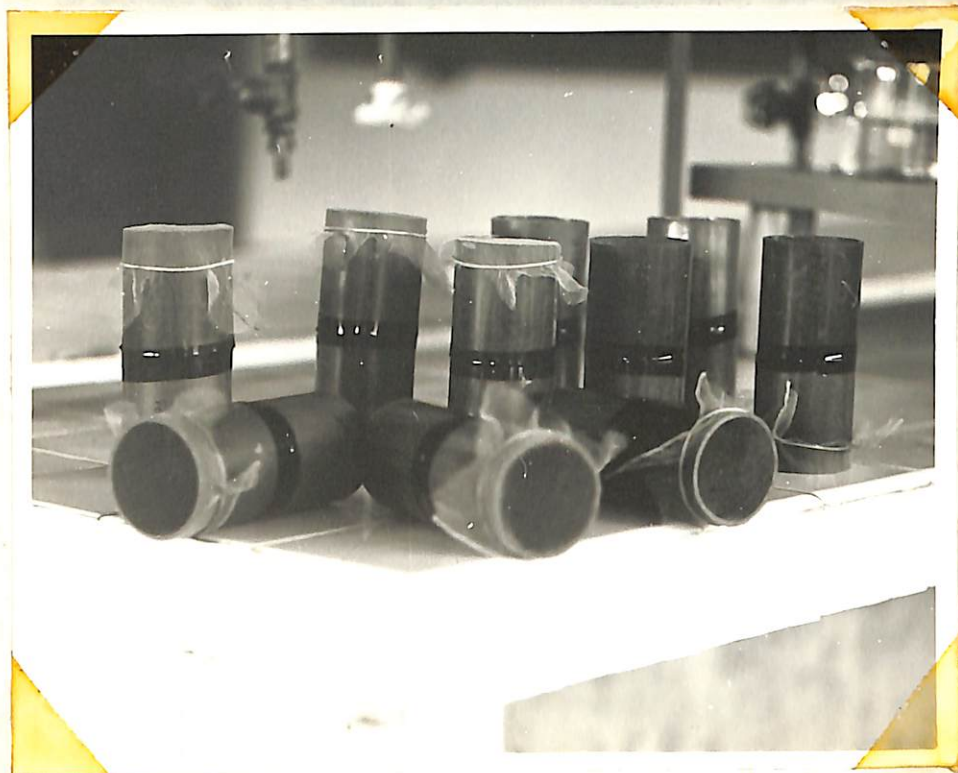


Figura 3 : Muestras acondicionadas listas para el en
sayo.

Foto : J. Molina J.

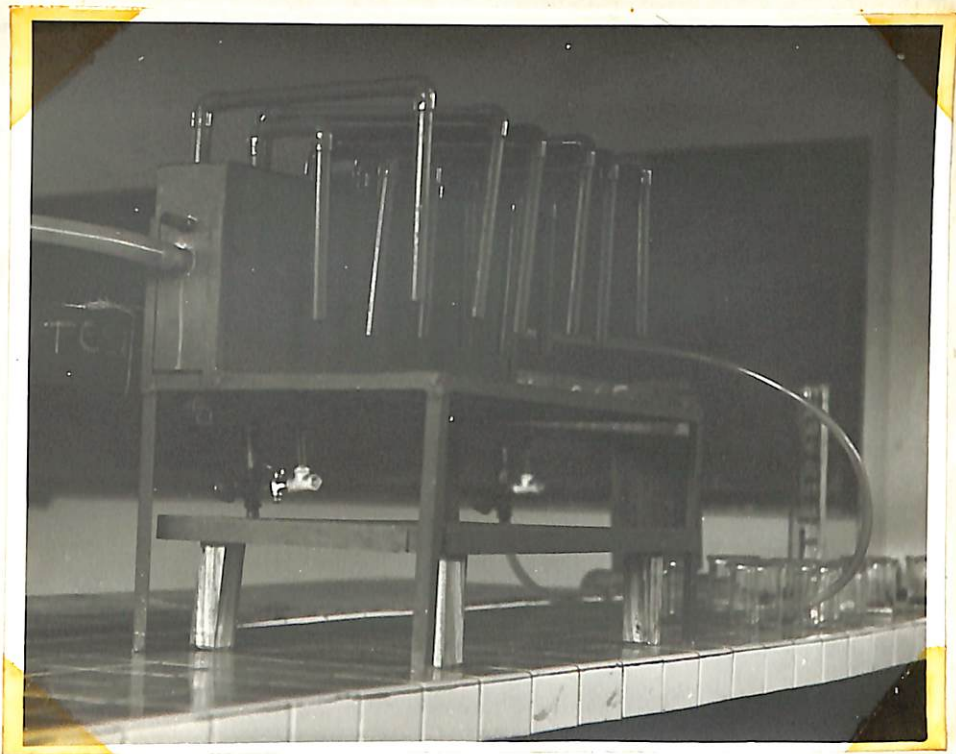


Figura 4 : Vista lateral del permeámetro listo para funcionar.

Foto : J. Molina J.

Al momento que éstas empezaron a percolar, se recolectó el fluido en beakers de 250 ml. Las mediciones de los volúmenes de agua se hicieron cada hora en probetas graduadas de 1.000, 50 y 10 ml. Cada muestra fué medida en base de un nonio Vernier (Figura 8).

3.1.7 Cálculo de la conductividad hidráulica con permeámetro de cabeza constante

Se empleó la fórmula :

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

Donde :

K = Conductividad hidráulica de la muestra (cm/hora)

Q = Volumen de flujo (cm³)

L = Longitud de la muestra (cm)

A = Area de la sección transversal de la muestra (cm²)

t = Tiempo empleado en recolectar Q (horas)

ΔH = Diferencia de cabeza hidráulica, a través de la muestra (cm).

3.2 Determinación de propiedades físicas

3.2.1 Análisis textural

Se siguió el método de Bouyoucos sin destrucción de materia orgánica, descrito por González (10).

3.2.2 Densidad aparente

La determinación de la densidad aparente se llevó a cabo por medio de cilindros de PVC con suelos sin disturbar, siguiendo la técnica descrita por Forsythe (6).

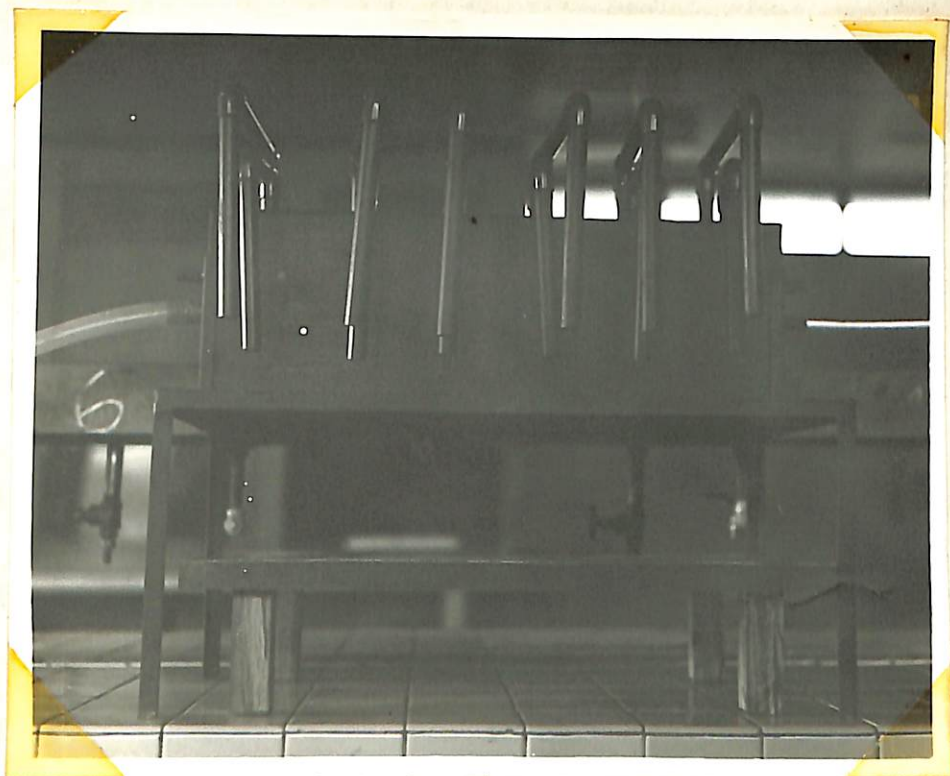


Figura 5 : Vista frontal del permeámetro listo para funcionar.

Foto : J. Molina J.

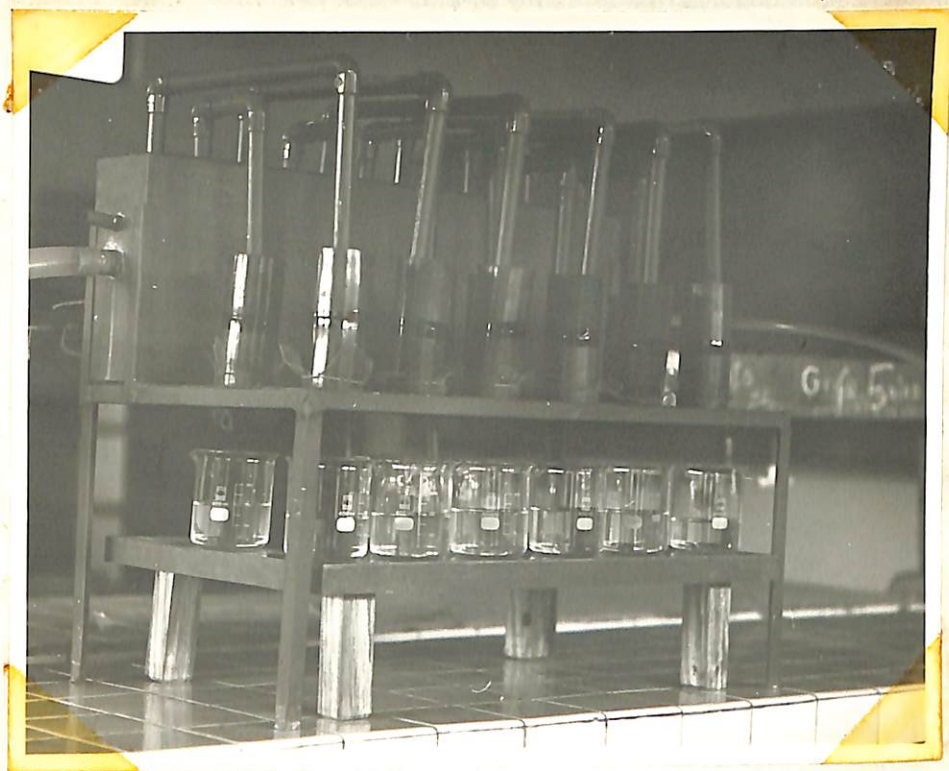


Figura 6 : Vista lateral del permeámetro en funcionamiento.

Foto : J. Molina J.



Figura 7 : Vista frontal del permeámetro en funcion
amiento.

Foto : J. Molina J.

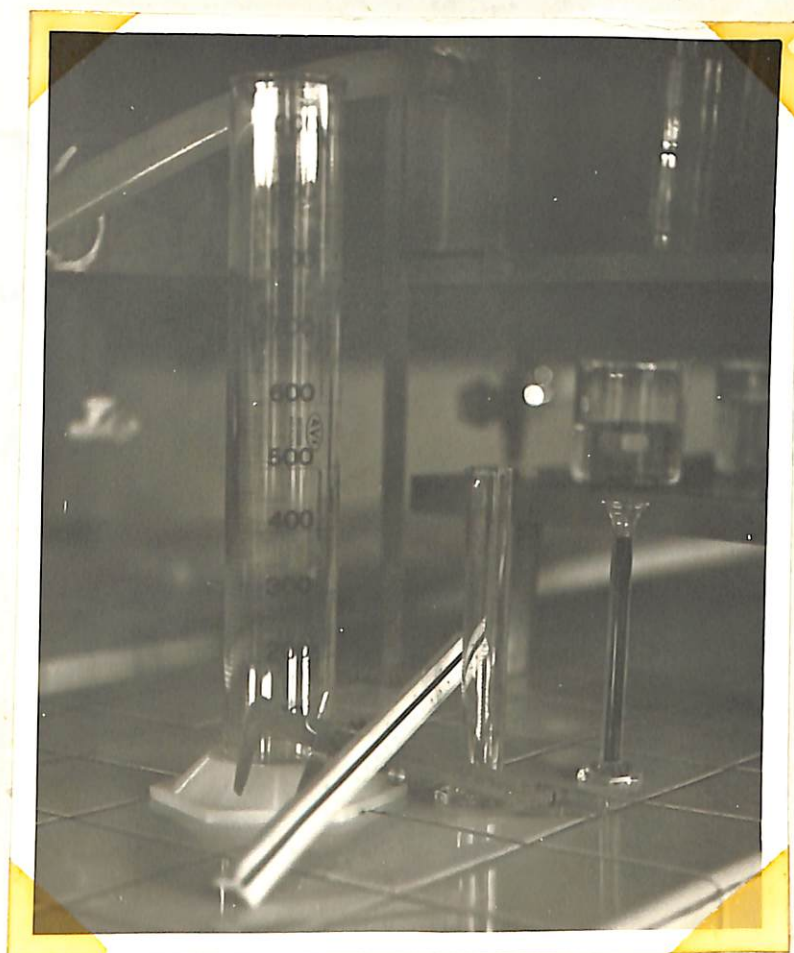
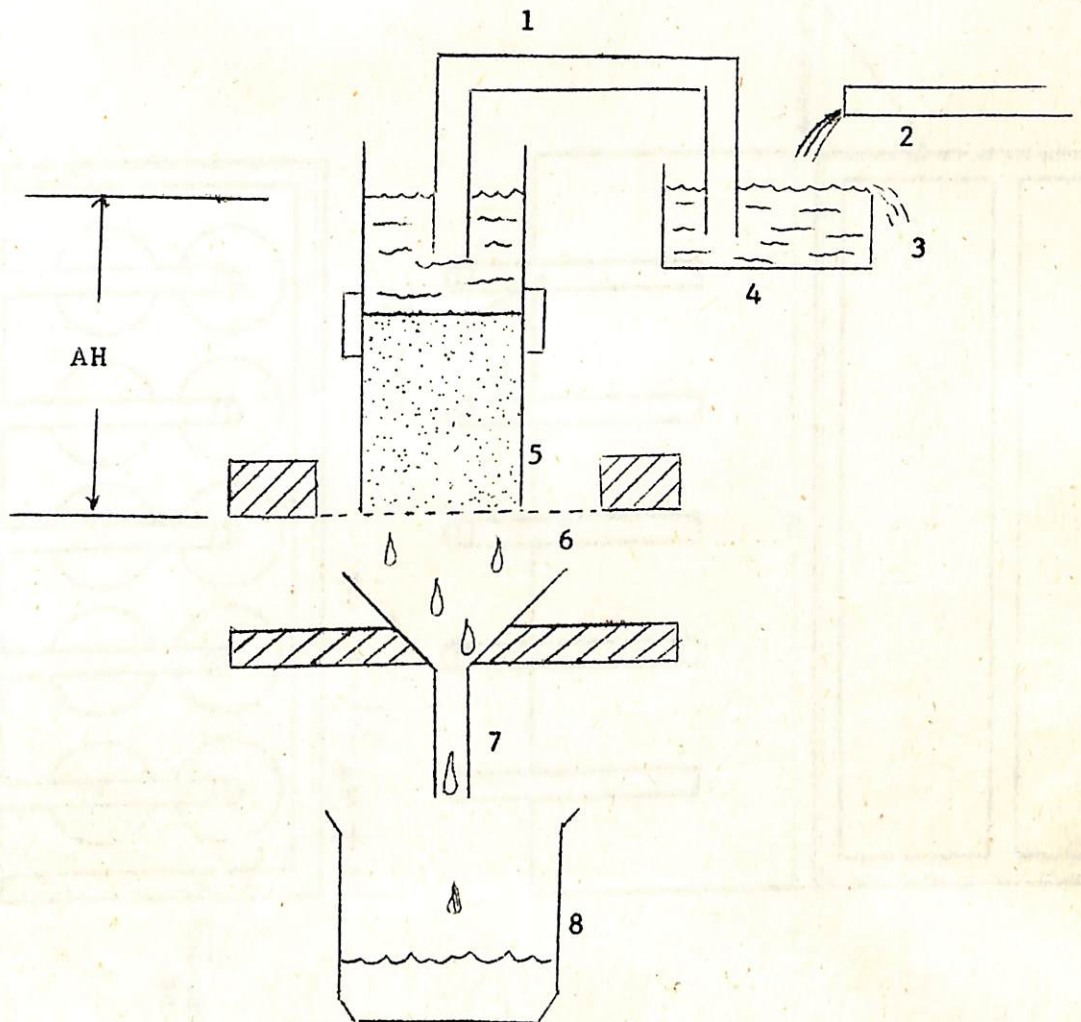


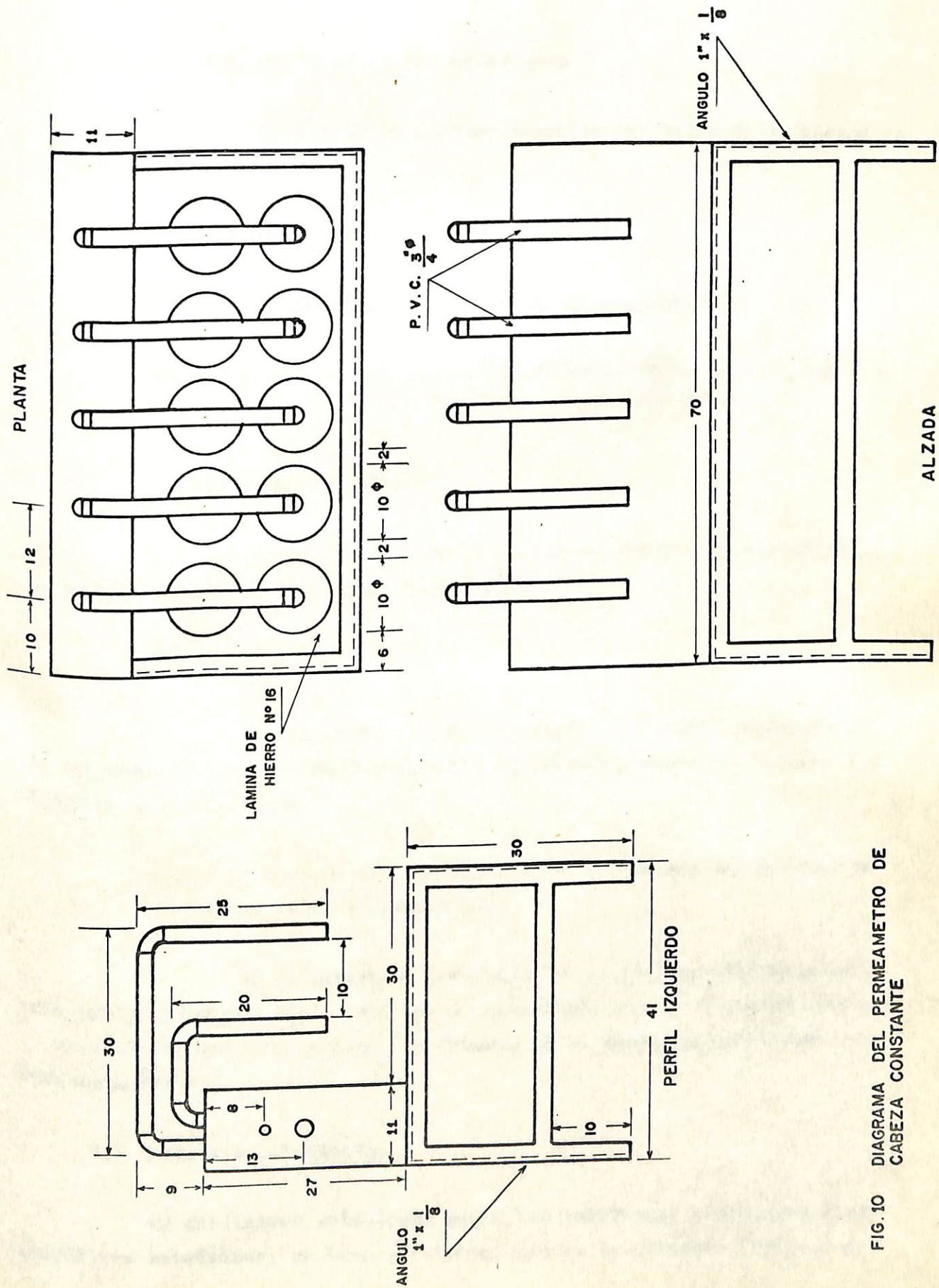
Figura 8 : Instrumentos auxiliares utilizados en el ensayo.

Foto : J. Molina J.



- 1 = Sifón
 - 2 = Suministro de agua
 - 3 = Salida del exceso de agua
 - 4 = Recipiente superior
 - 5 = Muestra del suelo sin disturbar
 - 6 = Soporte de malla metálica
 - 7 = Embudo
 - 8 = Beaker para recoger el percolado
- AH = Diferencia de la cabeza hidráulica a través de la muestra

Figura 9 Diagrama del sistema de cabeza constante



Dib. Carvajal M.

FIG. 10 DIAGRAMA DEL PERMEAMETRO DE CABEZA CONSTANTE

3.2.3 Densidad de las partículas

Se siguió la técnica descrita por Silva (18), basada en el método del picnómetro.

3.2.4 Porosidad

Se determinó por medio de la ecuación :

$$\% \text{ Porosidad Total} = 1 - \left[\frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad de las partículas}} \right] \times 100$$

3.2.5 Materia orgánica

Se procedió según el método de titulación volumétrica de Walkley-Black, descrito por Silva (18).

3.2.6 Reacción del suelo

Se determinó el pH, preparando una mezcla saturada en la relación suelo-agua 1:1 y empleando un potenciómetro tipo Beckman H-2 descrito por Silva (18).

3.2.7 Determinación del porcentaje de humedad volumétrica en el punto de saturación

En la estufa se determinó la humedad gravimétrica en el punto de saturación. Este valor se lo multiplicó por la densidad aparente correspondiente para obtener la humedad en el punto de saturación en base volumétrica.

3.3 Análisis estadístico

Se realizaron relaciones entre los diferentes parámetros fisi-coedáficos estudiados, en base al coeficiente de correlación (r) y el de

confiabilidad o determinación (r^2). La función de regresión (b) empleada fue de tipo lineal simple.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Textura

Los resultados para los tres suelos estudiados se presentan en las Tablas I, II, III. Es claro el predominio de la textura franca con contenidos relativamente bajos de arcilla, especialmente en el suelo Toro_bajo, cuyo valor promedio para este separado fue de 14,91%, mientras que en el Lope fue de 19,09% y el de Botana de 23,60%.

En la Tabla XVII se observa que las arcillas correlacionan negativamente con la materia orgánica y la porosidad total, con una significancia al nivel del 1%. Igualmente, hay una significancia aunque al nivel del 5% con la conductividad hidráulica. Estas tres correlaciones se complementan, ya que a mayor contenido de materia orgánica menor será la cantidad de arcillas; por otra parte, entre más arcillas existan en el suelo mayor será el valor de la densidad aparente y por ende menor el porcentaje de porosidad total. Por último, las arcillas pueden llegar a constituir un alto valor de porosidad total, aunque el tamaño de los poros sea pequeño, por lo cual se restringe el paso del agua, disminuyendo así la conductividad hidráulica. Sin embargo, como la textura predominante es la franca, realmente no podría esperarse una mayor incidencia de las arcillas sobre el parámetro principal, motivo de este estudio.

4.2 Densidad y Porosidad

Los valores de densidad aparente fueron, respectivamente, para los suelos Torobajo, Botana y Lope 0,832 g/ml, 1,226 g/ml y 1,116 g/ml. La porosidad total, en el mismo orden, presentó los siguientes valores: 64,98%, 48,21% y 52,74% (Tablas IV, V, VI).

Conviene observar que los valores promedios de densidad aparente y porosidad total varían de una manera considerable entre los tres suelos, a pesar de que los tipos texturales son similares. La primera explicación factible estriba en la diferencia de manejo, con mayor actividad en

los suelos Botana y Lope. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta el mayor contenido de arcillas, especialmente en el suelo Botana.

En la Tabla XVII y dentro de los análisis de regresión realizados, se observa que tanto la materia orgánica como las arcillas tienen un efecto directo sobre la porosidad total, aunque se sentido contrario, ya que la primera se correlaciona en forma directa, mientras que las arcillas tienden a reducir la mencionada porosidad. Cabría la posibilidad de que el agua se hubiese incrustado entre las láminas de las arcillas, lo cual alteraría los resultados. Esta hipótesis confirmaría una situación de común ocurrencia en suelos derivados de cenizas volcánicas; al respecto, observando los valores de densidad aparente, densidad de las partículas y porosidad total en los tres suelos analizados, es factible creer que los suelos de Torobajo tienen alguna influencia de las mencionadas cenizas volcánicas.

4.3 Materia orgánica

Los valores para los suelos Torobajo, Botana y Lope se encuentran consignados en las Tablas VII, VIII, IX cuyos promedios, respectivamente son 4,25%, 1,49% y 3,55%. Estos datos pueden interpretarse de acuerdo al clima (") así :

Región	Bajo	Normal	Alto
Frio	< 4%	4-8%	> 8%

De acuerdo a lo anterior, el suelo Torobajo se encontraría en condiciones normales del porcentaje de materia orgánica. No sucede lo mismo para el suelo Botana que estaría clasificado como muy bajo, estando el suelo Lope cerca al nivel normal.

(") Información personal H. Burbano O.

En relación al efecto de la materia orgánica sobre los otros parámetros estudiados, se encontró que correlacionan en forma negativa con la densidad aparente y positiva con la porosidad total, ambos con significancia estadística al 1%. Igualmente, incide en esa misma magnitud sobre la conductividad hidráulica. Resulta un tanto sorpresivo el haber encontrado estas significancias a dicho nivel, si se tiene en cuenta los valores relativamente bajos de materia orgánica encontrados. Sin embargo, podría explicarse en base a los bajos contenidos de arcilla, el otro parámetro productor de estas situaciones.

4.4 Humedad volumétrica

En las Tablas X, XI, XII, se presentan los valores de humedad volumétrica en el punto de saturación, cuyos promedios son : 38,18% en el suelo Torobajo, 43,08% en el suelo Botana y 52,72% en el suelo Lope. Estos valores se pueden considerar bajos para suelos que tengan algún origen de cenizas volcánicas. Por otra parte, podría pensarse en que, como lo manifiesta Gavande (10), no se logra una saturación total debido a que especialmente en los microporos y en las uniones de las láminas de arcilla queda aire atrapado. Adicionalmente, ni las arcillas ni la materia orgánica contribuyeron en forma significativa a incrementar esos valores de humedad volumétrica en el punto de saturación, aunque su relación fué directa.

4.5 Conductividad hidráulica

En las Tablas XIII, XIV, XV se presentan los valores de conductividad hidráulica en cm/hora y en cm/día, cuyos promedios para la primera unidad fueron : 0,59, 0,16 y 0,77 para los suelos Torobajo, Botana y Lope, respectivamente. En base a los rangos propuestos para Torobajo y el Sena presentan una conductividad del agua, clasificada como lenta, mientras que Botana queda clasificada como muy lenta.

En la Tabla XVII se observan que a excepción de la porosidad total, los otros parámetros de incidencia como la densidad aparente, las

arcillas, la humedad volumétrica en el punto de saturación y la materia orgánica, influyen de manera decisiva sobre el mayor o menor valor de la conductividad hidráulica. Es decir, que a mayor valor de densidad aparente y arcillas menor valor de la conductividad hidráulica; por el contrario, entre mayor sea la humedad volumétrica en el punto de saturación y el contenido de materia orgánica, más altos serán los valores de la conductividad hidráulica.

Resultados similares fueron encontrados por Cordero (4), quien en suelos del Valle del Cauca encontró iguales tendencias al efectuar los análisis de regresión entre la conductividad hidráulica y los parámetros físicos estudiados en este trabajo, excepción hecha del punto de saturación donde encontró una correlación negativa. La disparidad de este resultado quizá se explique en que los tipos de arcilla son diferentes para las dos regiones, y además, es posible que los contenidos de materia orgánica sean igualmente diferentes.

El valor obtenido para la Granja Botana debe ser motivo de preocupación, ya que el flujo es tan lento que impide una descarga rápida del agua de los terrenos, por lo cual durante la mayor parte del año aquellos permanecen inundados o con un nivel freático muy alto. En lo referente a los suelos Torobajo y Lope la situación no es tan problemática, aunque la clasificación de su conductividad hidráulica como lenta obliga, al igual que al suelo Botana a pensar en la necesidad de planificar y diseñar drenajes, pues su productividad está y será restringida en alto grado por este factor.

TABLA I

ANALISIS TEXTURAL - SUELO TOROBAJO

MUESTRA	ARENAS (%)	ARCILLAS (%)	LIMOS (%)	TEXTURA
1	46,61	15,28	38,11	F
2	50,69	15,48	33,83	F
3	52,29	13,63	34,08	F
4	53,89	15,79	32,32	F
5	54,47	13,90	31,63	F
6	52,09	15,48	32,43	F
7	51,78	15,50	32,72	F
8	51,98	15,52	32,50	F
9	52,04	13,62	34,34	F
PROMEDIO	51,76	14,91	33,32	

F = Franco

TABLA II

ANALISIS TEXTURAL - SUELO BOTANA

MUESTRA	ARENAS (%)	ARCILLAS (%)	LIMOS (%)	TEXTURA
1	43,76	23,67	32,57	F
2	43,75	21,74	34,51	F
3	41,53	23,98	34,49	F
4	43,78	23,86	32,36	F
5	41,85	26,06	32,09	F-Ar
6	41,02	23,85	35,13	F
7	43,95	20,47	35,58	F
8	41,84	22,24	35,92	F
9	41,37	26,55	32,08	F-Ar
PROMEDIO	42,53	23,60	33,85	

F = Franco

Ar = Arcilloso

TABLA III

ANALISIS TEXTURAL - SUELO LOPE

MUESTRA	ARENAS (%)	ARCILLAS (%)	LIMOS (%)	TEXTURA
1	43,84	18,33	37,83	F
2	43,64	18,15	38,21	F
3	41,90	19,99	38,11	F
4	41,38	30,07	38,55	F
5	41,75	19,94	38,31	F
6	44,46	18,11	37,43	F
7	42,42	18,63	38,95	F
8	44,25	20,26	35,49	F
9	42,66	18,37	38,97	F
PROMEDIO	42,92	19,09	37,98	

F = Franco

TABLA IV

DENSIDAD AFARENTE, DENSIDAD DE LAS PARTICULAS Y
POROSIDAD TOTAL - SUELO TOROBAJO

MUESTRA	DENSIDAD APARENTE (g/ml)	DENSIDAD DE LAS PARTICULAS (g/ml)	POROSIDAD TOTAL (%)
1	0,9771	2,4497	60,12
2	0,9288	2,4469	62,05
3	0,8674	2,1483	59,63
4	0,8054	2,2886	64,81
5	0,7701	2,3551	67,31
6	0,7258	2,5227	71,23
7	0,7782	2,3080	66,29
8	0,7995	2,4162	66,92
9	0,8387	2,5016	66,48
PROMEDIO	0,8323	2,3812	64,98

TABLA V

DENSIDAD APARENTE, DENSIDAD DE LAS PARTICULAS Y
POROSIDAD TOTAL - SUELO BOTANA

MUESTRA	DENSIDAD APARENTE (g/ml)	DENSIDAD DE LAS PARTICULAS (g/ml)	POROSIDAD TOTAL (%)
1	1,0972	2,3961	54,21
2	1,1021	2,2600	51,24
3	1,2777	2,6934	52,57
4	1,2901	2,3252	44,52
5	1,2134	2,2869	46,95
6	1,2969	2,2838	43,22
7	1,2596	2,3126	45,54
8	1,2889	2,5261	48,98
9	1,2074	2,2651	46,70
PROMEDIO	1,2259	2,3718	48,21

TABLA VI

DENSIDAD APARENTE, DENSIDAD DE LAS PARTICULAS Y
POROSIDAD TCTAL - SUELO LOPE

MUESTRA	DENSIDAD APARENTE (g/ml)	DENSIDAD DE LAS PARTICULAS (g/ml)	POROSIDAD TOTAL (%)
1	1,3322	2,3013	50,81
2	0,9873	2,2675	56,46
3	1,0717	2,2261	51,86
4	1,0234	2,3273	56,03
5	1,2044	2,3737	49,27
6	1,1937	2,2617	47,23
7	1,1057	2,3681	53,31
8	1,1364	2,3798	52,25
9	0,9894	2,3552	57,45
PROMEDIO	1,1160	2,3144	52,74

TABLA VII

MATERIA ORGANICA Y pH - SUELO TOROBAJO

MUESTRA	MATERIA ORGANICA (%)	pH
		6,40
1	5,08	6,40
2	4,99	6,50
3	5,30	6,50
4	3,61	6,50
5	4,56	6,50
6	3,29	6,50
7	3,91	6,50
8	3,81	6,40
9	3,69	
		6,46
PROMEDIO	4,25	

TABLA VIII

MATERIA ORGANICA Y pH - SUELO BOTANA

NUESTRA	MATERIA ORGANICA (%)	pH
1	1,21	6,50
2	1,51	6,20
3	1,01	6,20
4	1,93	6,60
5	1,82	6,70
6	1,73	6,60
7	1,74	7,00
8	1,44	6,80
9	1,02	6,90
PROMEDIO	1,49	5,91

TABLA IX

MATERIA ORGANICA Y pH - SUELO LOPE

MUESTRA	MATERIA ORGANICA (%)	pH
1	3,17	6,10
2	3,57	6,20
3	3,37	6,10
4	3,46	6,10
5	3,99	6,10
6	3,89	6,20
7	3,27	6,20
8	3,47	6,10
9	3,78	
PROMEDIO	3,55	6,13

TABLA X

HUMEDAD EN EL FUNTO DE SATURACION EN BASE GRAVIMETRICA Y VOLUMETRICA Y
HUMEDAD HIGROSCOPICA EN BASE GRAVIMETRICA - SUELO TOROBAJO

MUESTRA	Hg. P.S. (%)	Hv. P.S. (%)	Hg. pH (%)
1	46,83	45,75	6,432
2	43,56	40,45	6,710
3	48,10	41,72	6,506
4	44,25	38,73	6,520
5	43,28	34,07	6,577
6	45,62	33,11	6,706
7	43,65	33,96	6,542
8	47,79	38,20	6,442
9	44,91	37,66	6,593
PROMEDIO	45,33	38,18	6,558

Hg. P. S. = Humedad gravimétrica en el punto de saturación
Hv. P. S. = Humedad volumétrica en el punto de saturación
Hg. pH = Humedad higroscópica en base gravimétrica.

TABLA XI

HUMEDAD EN EL PUNTO DE SATURACION EN BASE GRAVIMETRICA Y VOLUMETRICA Y
HUMEDAD HIGROSCOPICA EN BASE GRAVIMETRICA - SUELO BOTANA

MUESTRA	Hg. P. S. (%)	Hv. P. S. (%)	Hg. pH (%)
1	35,32	38,75	3,586
2	32,24	35,53	3,578
3	29,28	37,41	3,518
4	33,77	43,56	3,889
5	39,68	48,14	4,062
6	32,46	42,09	3,992
7	36,04	45,39	4,413
8	33,46	43,12	5,083
9	44,54	53,77	4,254
PROMEDIO	31,94	43,08	4,520

Hg. P. S. = Humedad gravimétrica en el punto de saturación
Hv. P. S. = Humedad volumétrica en el punto de saturación
Hg. pH = Humedad higroscópica en base gravimétrica.

TABLA XII

HUMEDAD EN EL PUNTO DE SATURACION EN BASE GRAVIMETRICA Y VOLUMETRICA Y
HUMEDAD HIGROSCOPICA EN BASE GRAVIMETRICA - SUELO LOPE

MUESTRA	Hg. P. S. (%)	Hv. P. S. (%)	Hg. pH (%)
			5,725
1	55,54	62,88	5,346
2	49,50	48,87	5,646
3	56,40	60,44	5,287
4	46,52	47,60	5,881
5	46,83	56,40	5,543
6	41,87	49,98	5,630
7	46,29	51,18	5,513
8	43,71	49,67	5,543
9	48,01	47,50	
PROMEDIO	48,30	52,72	5,568

Hg. P. S. = Humedad gravimétrica en el punto de saturación
Hv. P. S. = Humedad volumétrica en el punto de saturación
Hg. pH = Humedad higroscópica en base gravimétrica

TABLA XIII

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA - SUELO TOROBAJO

MUESTRA	K (cm/hora)	K (cm/día)
1	0,2641	6,2984
2	0,9509	22,8216
3	1,1358	27,2596
4	0,5168	12,4032
5	0,3540	8,4960
6	0,3540	9,4960
7	0,6977	16,7448
8	0,6735	16,1640
9	0,3962	9,5088
PROMEDIO	0,5936	14,4658

K = Conductividad hidráulica

TABLA XIV

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA - SUELO BOTANA

MUESTRA	K (cm/hora)	K (cm/día)
1	0,1920	4,6080
2	0,0274	0,6576
3	0,0548	1,3132
4	0,1901	4,5768
5	0,0739	1,7736
6	0,1188	2,8512
7	0,2880	6,1920
8	0,1974	4,7376
9	0,2743	6,6832
PROMEDIO	0,1574	3,7903

K = Conductividad hidráulica

TABLA XV

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA - SUELO LOPE

MUESTRA	K (cm/hora)	K (cm/día)
1	2,1660	51,9840
2	0,7680	18,4320
3	0,7528	18,0672
4	0,6603	15,8472
5	0,3962	9,5088
6	0,5283	12,6792
7	0,4754	11,4096
8	0,4754	11,4096
9	0,7000	16,8000
PROMEDIO	0,7691	18,4597

K = Conductividad hidráulica

TABLA XVI

VALORES PROMEDIOS DE LOS PARAMETROS ESTUDIADOS

PARAMETRO	SITIO		
	TOROBAYO	BOTANA	LOPE
Arenas, %	51,76	42,53	42,92
Arcillas, %	14,91	23,60	19,09
Limos, %	33,32	33,85	37,98
Densidad aparente, g/ml	0,83	1,22	1,11
Densidad de las partículas, g/ml	2,38	2,37	2,31
Porosidad total, %	64,98	48,21	52,74
Materia orgánica, %	4,25	1,49	3,55
pH	6,46	5,91	6,13
Hg. P.S., %	45,33	31,94	48,30
Hv. P.S., %	38,18	43,08	52,72
Hg. pH	6,55	4,52	5,56
Conductividad hidráulica, cm/hora	0,59	0,16	0,77
Conductividad hidráulica, cm/día	44,46	3,79	18,46

Hg. P. S. = Humedad gravimétrica en el punto de saturación
Hv. P. S. = Humedad volumétrica en el punto de saturación
Hg. pH = Humedad gravimétrica

RELACIONES ENTRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS PARA LOS TRES SUELOS

X	X	ECUACION	r	R (%)	n
Materia orgánica	Hv. P. S.	$Y = 44,4 + 0,04X$	0,0056	0,0031	27
Materia orgánica	Densidad aparente	$Y = 1,318 - 0,09X$	- 0,718*	51,55	27
Materia orgánica	% Poros totales	$Y = 43,47 + 3,83X$	0,6129**	37,56	27
Arcillas	Materia orgánica	$Y = 8,658 - 0,29X$	- 0,868	75,69	27
Arcillas	Hv. P. S.	$Y = 29,65 + 0,78X$	0,3400	11,56	27
Arcillas	Densidad aparente	$Y = 0,27 + 0,04X$	0,864**	75,25	27
Arcillas	% Poros totales	$Y = 87,95 - 1,70X$	- 0,814**	65,61	27
Densidad aparente	K	$Y = 1,446 - 0,91X$	- 0,3765 +	14,20	27
Arcillas	K	$Y = 1,46 - 0,05X$	- 0,4566 +	20,84	27
Hv. P. S.	K	$Y = - 0,348 + 0,019X$	0,402 +	15,16	27
Materia orgánica	K	$Y = 0,005 + 0,16X$	0,4989**	24,89	27
% Poros totales	K	$Y = - 0,053 + 0,01X$	0,20	4,00	27

Hv. P. S. = Humedad volumétrica en el punto de saturación ; K = Conductividad hidráulica

+ = Significancia al 5%

** = Significancia al 1%

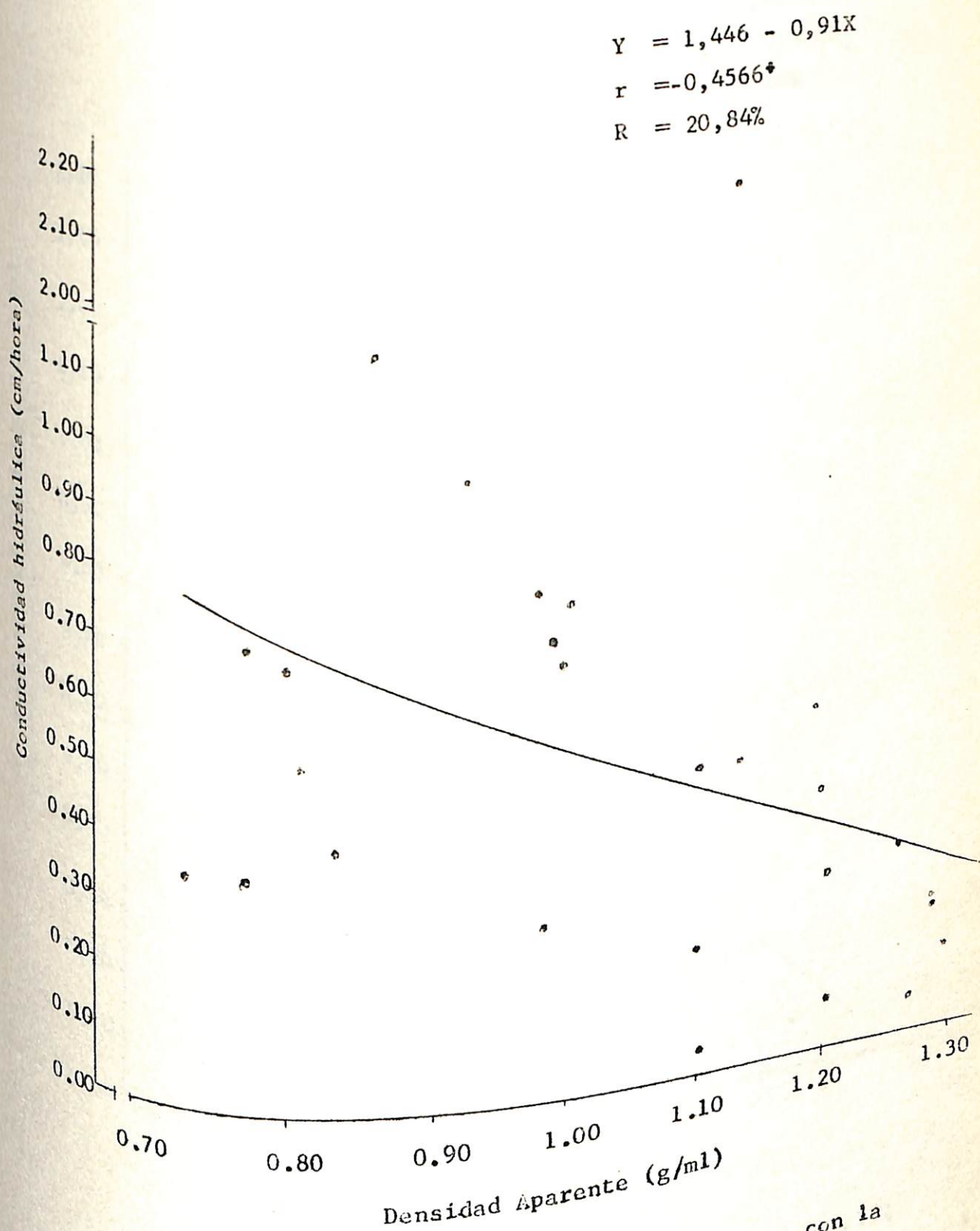


Figura 11 Relación de la conductividad hidráulica con la densidad aparente

$$Y = 1,46 - 0,05X$$
$$r = - 0,4566^*$$
$$R = 20,84\%$$

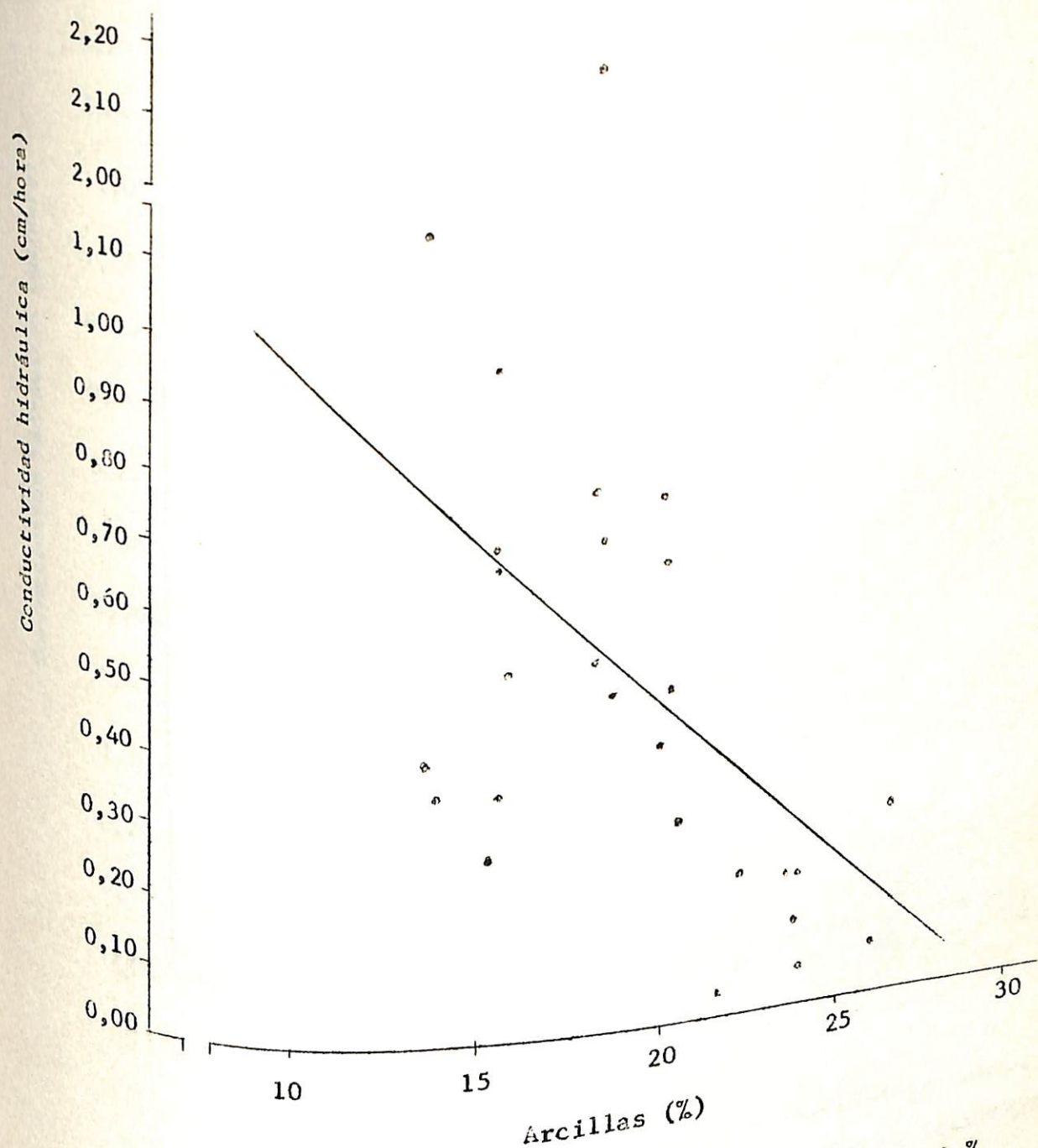


Figura 12 Relación de conductividad hidráulica con el % de arcillas

$$Y = - 0,348 + 0,019X$$
$$r = 0,402^{\dagger}$$
$$R = 16,16\%$$

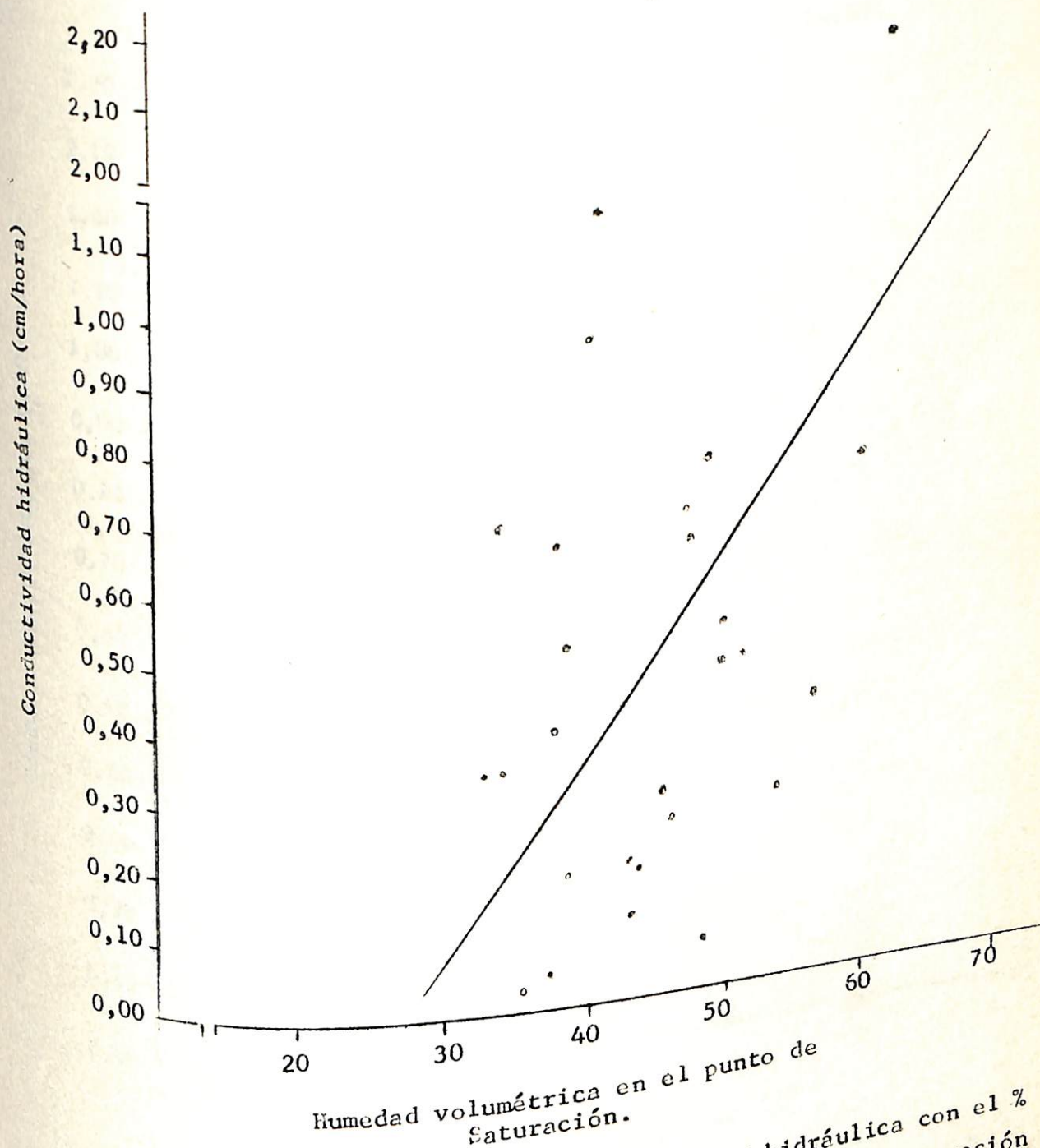


Figura 13 Relación de la conductividad hidráulica con el % de humedad volumétrica en el punto de saturación

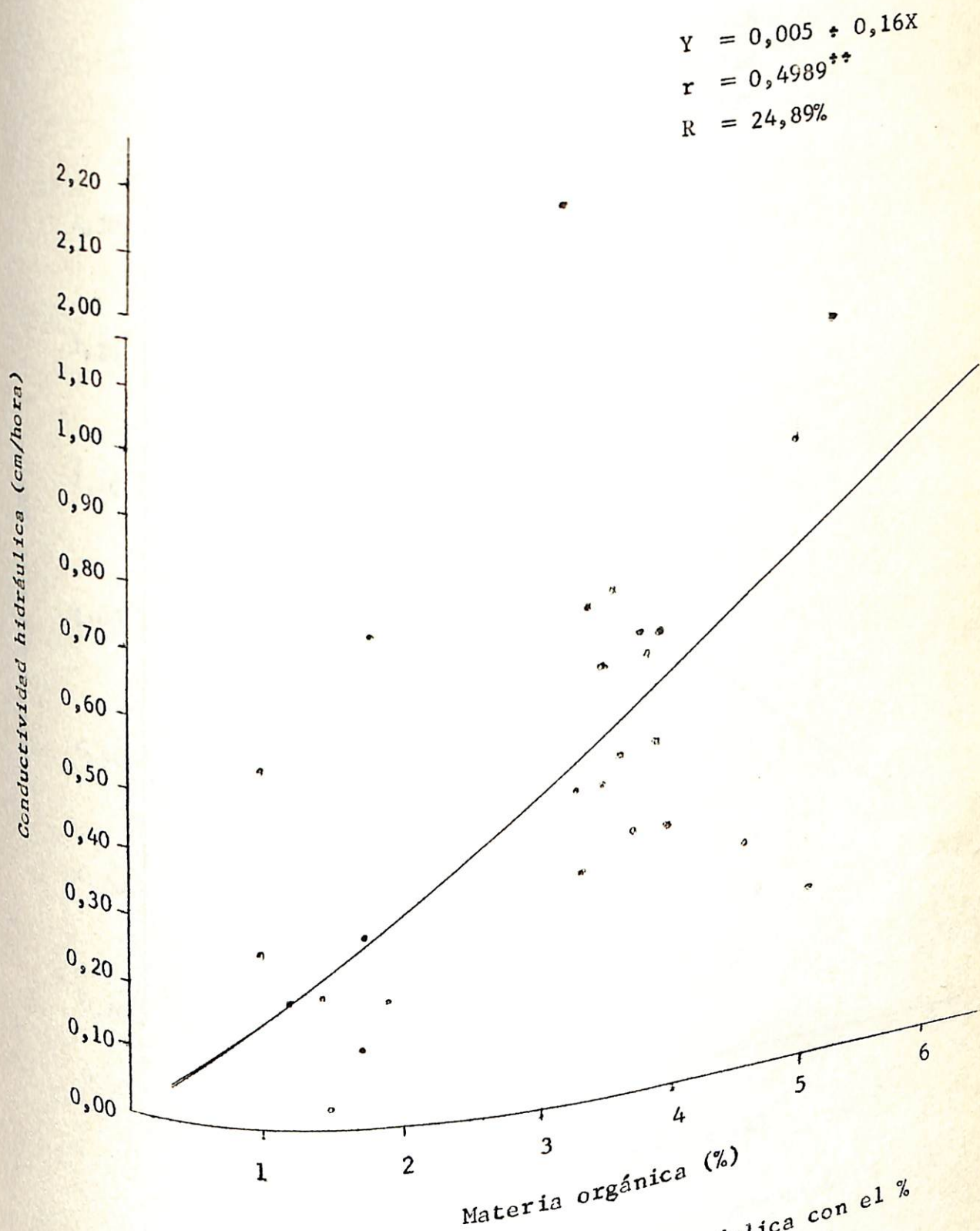


Figura 14 Relación de conductividad hidráulica con el % de materia orgánica

$$Y = 1,318 - 0,09X$$
$$r = -0,718^{**}$$
$$R = 51,55\%$$

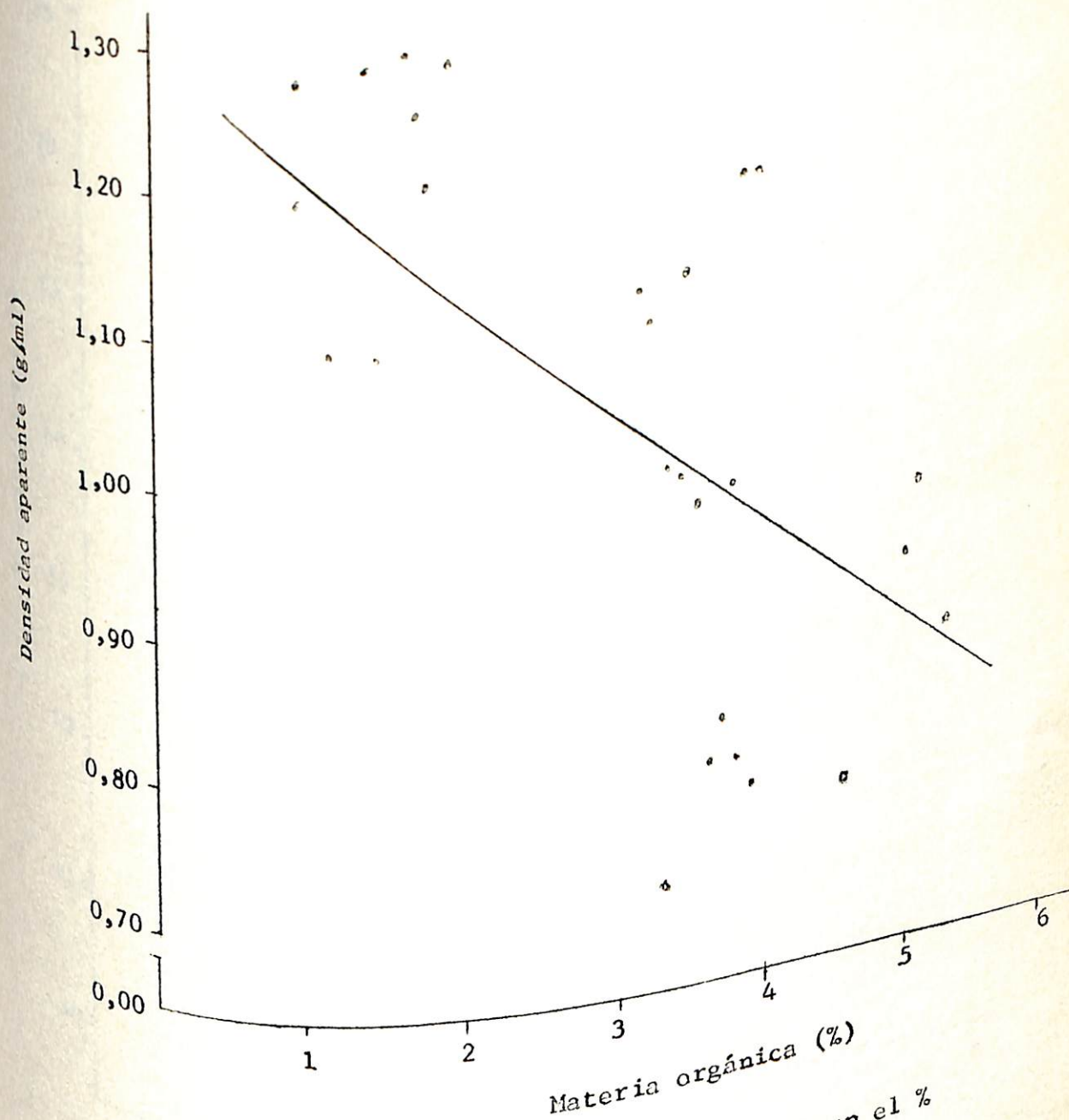


Figura 15 Relación de Densidad aparente con el % de materia orgánica

$$Y = 43,47 + 3,83X$$
$$r = 0,6129^{**}$$
$$R = 37,56\%$$

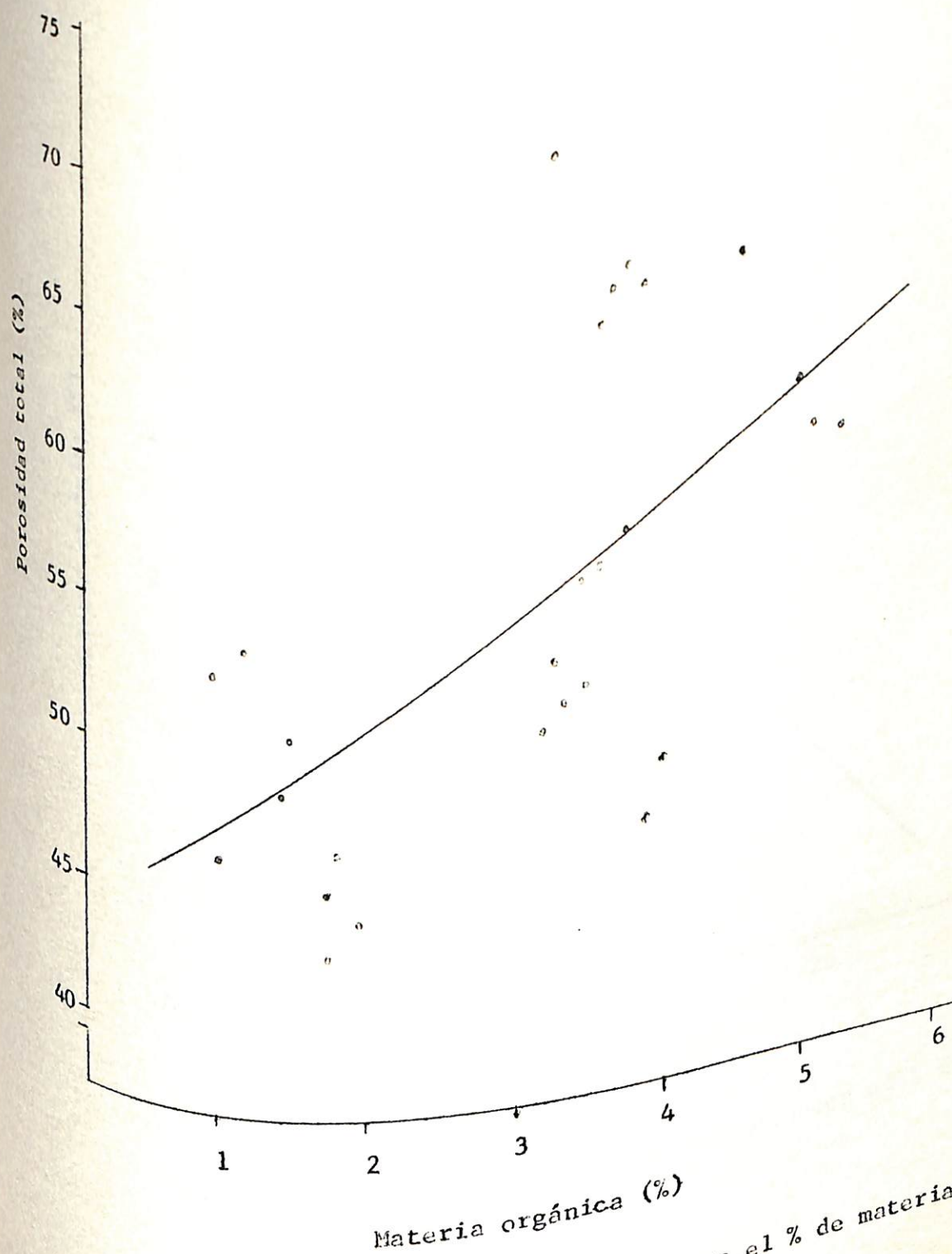


Figura 16 Relación de porosidad total con el % de materia orgánica

$$Y = 8,658 - 0,29X$$
$$r = -0,868^{**}$$
$$R = 75,69\%$$

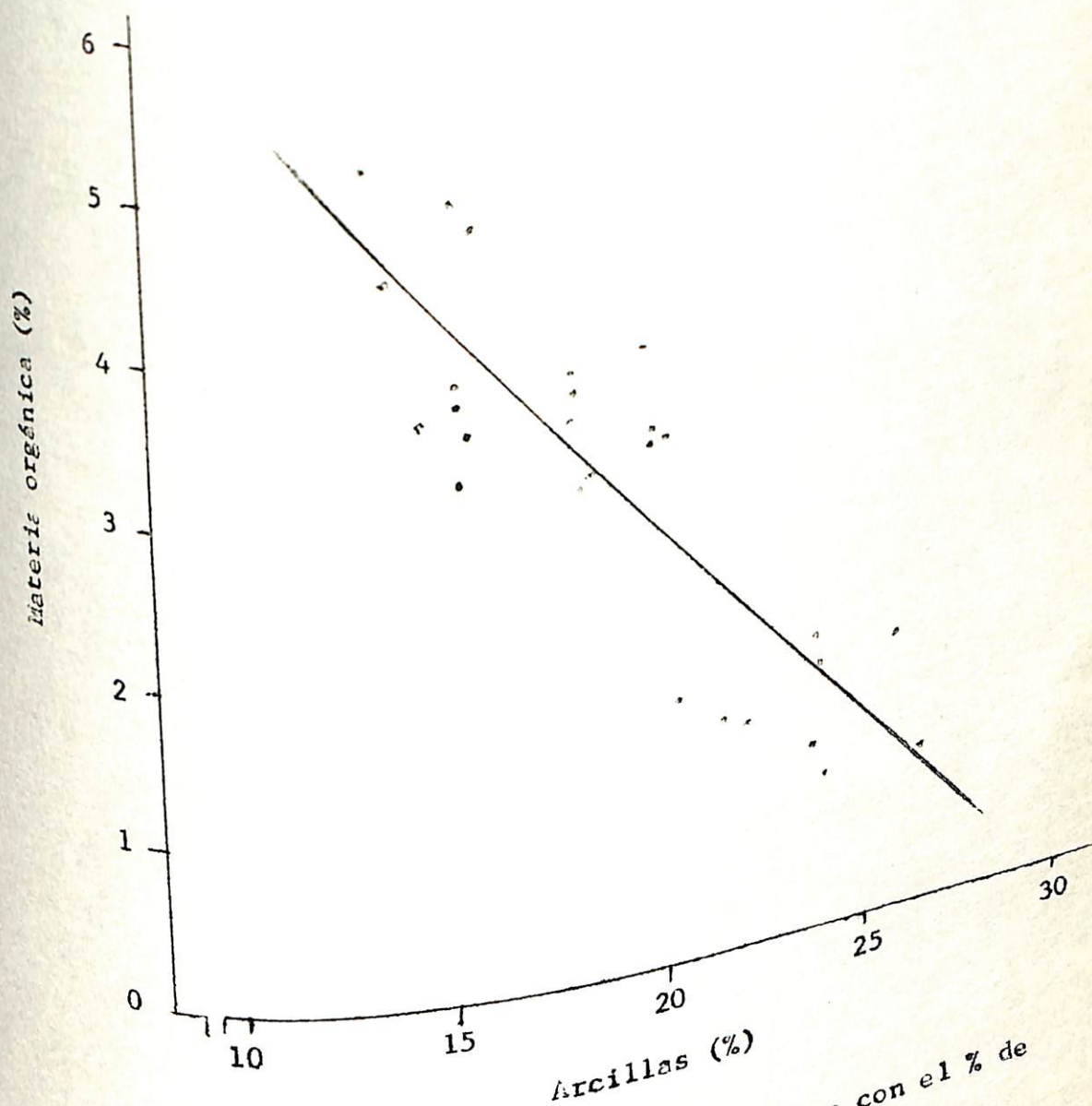


Figura 17 Relación de materia orgánica con el % de arcillas.

$$Y = 0,27 + 0,04X$$
$$r = 0,864^{**}$$
$$R = 72,25\%$$

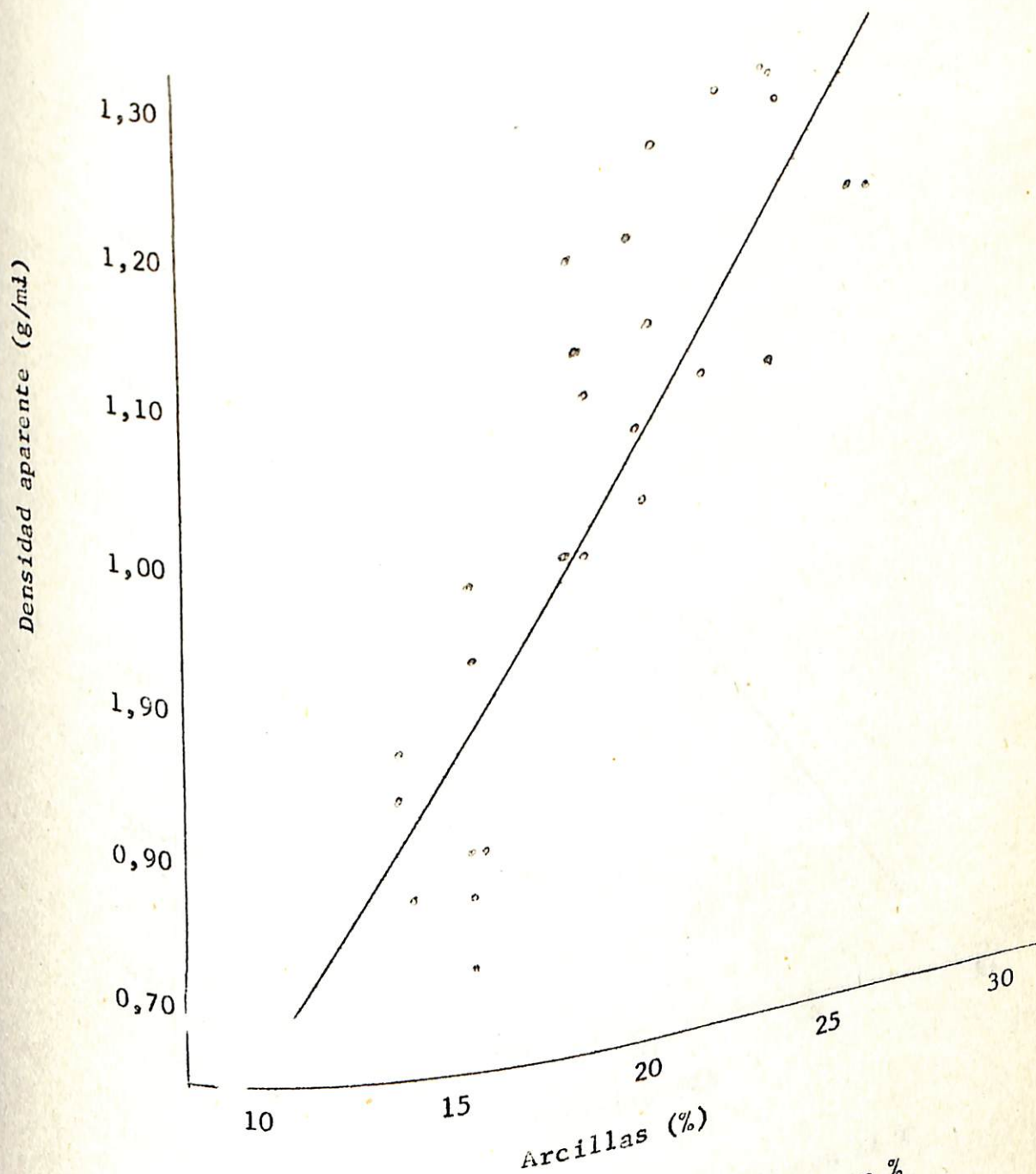


Figura 18 Relación de densidad aparente con % de arcillas.

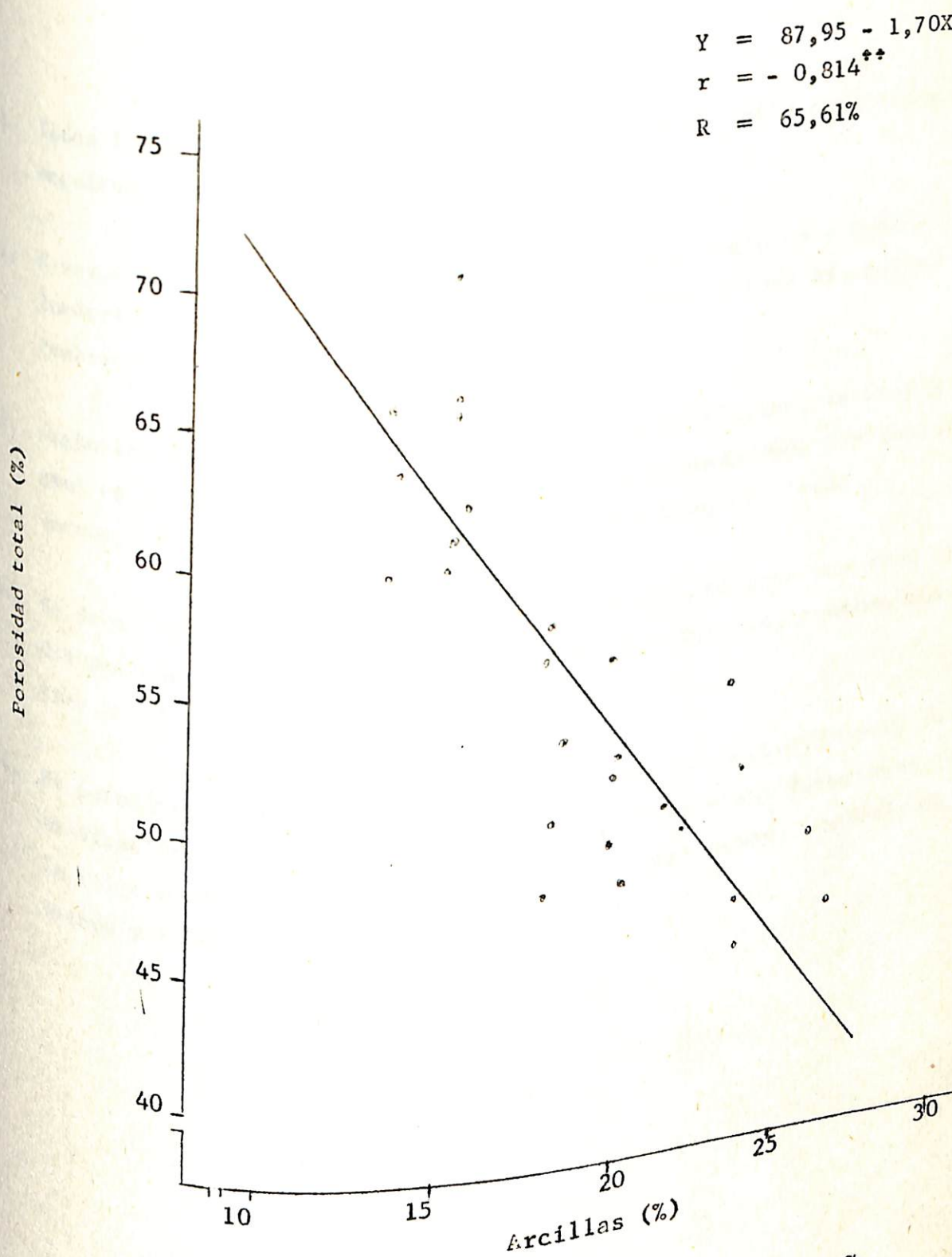


Figura 19 Relación de porosidad total con el % de arcillas

V. CONCLUSIONES

1. Todos los parámetros que se determinaron tienen influencia sobre la magnitud de la conductividad hidráulica.
2. A mayores valores de porosidad total, materia orgánica y humedad volumétrica en el punto de saturación, la conductividad hidráulica fué también mayor.
3. Según los datos promedios de conductividad hidráulica, la Granja Botana en la tabla de clasificaciones queda ubicada como muy lenta; Torobajo y la Granja Lope están dentro del rango de lenta.
4. Se deben ampliar los estudios sobre este aspecto para las tres grandes regiones de Mariño : Pasto, Túquerres e Ipiales, tomando muestras en el suelo y el subsuelo.
5. El permeámetro de cabeza constante diseñado y construido para la realización del presente estudio dio resultados muy favorables en lo relacionado con su costo, facilidad de operación, economía de tiempo y confiabilidad de resultados.

VI. RESUMEN

En el trabajo realizado, se tuvo como principal objetivo la determinación de la conductividad hidráulica en el laboratorio, por medio del permeámetro de cabeza constante y con muestras saturadas no disturbadas, de tres sitios del Altiplano de Pasto, para un total de veintisiete muestras.

Además, se estudiaron algunas propiedades físicas : textura, densidad aparente, densidad de las partículas, porosidad total y porcentaje de humedad volumétrica en el punto de saturación. Además, se determinó el contenido de materia orgánica y el pH de los suelos.

Los valores promedios del contenido de arcillas, arenas y limos fue ron, respectivamente : 14,91%, 51,76 y 33,32% para Torobajo, 23,60%, 42,53% y 33,85% para Botana y 19,09%, 42,92% y 37,98% para Lope; la densidad aparente 0,83 g/ml, 1,22 g/ml y 1,11 g/ml; la porosidad total 64,98%, 48,21% y 52,74%; la humedad volumétrica en el punto de saturación 38,18%, 43,08% y 52,72%; la materia orgánica 4,25%, 1,49% y 3,55% y la conductividad hidráulica 0,59 cm/hora, 0,16 cm/hora y 0,77 cm/hora.

De acuerdo a los valores obtenidos para la conductividad hidráulica, el suelo Botana se clasifica como muy lento, los suelos Lope y Torobajo como lentos.

VI. SUMMARY

HYDRAULIC CONDUCTIVITY DETERMINATION IN 3 SOILS OF ALTIPLANO DE PASTO

The aim of this work was hydraulic conductivity determination in laboratory, with the constant head permeameter and undisturbed saturated samples, of 3 Altiplano de Pasto soils.

Some physical properties were studied : texture, bulk density, particle density, total porosity and volumetric moisture percentage at the saturation point. Besides, organic matter content and pH were determined.

Averages values for clay, sand and silt were respectively : 14,91%, 51,76% and 33,32% for Torobajo soil; 23,60%, 42,53% and 33,85 for Botana soil; 19,09%, 42,92% and 37,98% for Lope soil; bulk density : 0,83 g/ml, 1,22 g/ml and 1,11 g/ml; total porosity 64,98%, 48,21% and 52,74%; volumetric moisture 38,13%, 43,08% and 52,72%; organic matter : 4,25%, 1,49% and 3,55% and hydraulic conductivity 0,59 cm/hora, 0,16 cm/hora and 0,77 cm/hora.

According to hydraulic conductivity values, Botana soil may be classified as very slow, whereas Lope and Torobajo soil may be slow.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. BAVER, L. D., W. GARDNER y W. GARDNER. Física de suelos. Trad. del inglés por Jorge Rodríguez. México, UTEHA, 1973. 530 p.
2. BUENO, J. Estudio geológico del Departamento de Nariño. Informe al Ministerio de Minas y Petróleos. Pasto, Colombia. s.f., s.p.
3. CORDERO, J. A. Construcción de un permeámetro de cabeza constante para la determinación de la conductividad hidráulica en muestras sin disturbar. Tesis Ing. Agr. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1974. 56 p.
4. CORREA, A., J. L. ESPAÑA. Clasificación de las tierras para riego y drenajes del sector de Montería-Cereté-San Carlos. Colombia, Ministerio de Hacienda, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Volumen VI No. 4. 1970. 9, 20-23, 32, 33.
5. CHAVES, E. Atlas de Nariño. Bogotá, Arco, 1959. 33 p.
6. EDMISTER, T. W. y J. VAN SCHILFEGGARDE. Problemas técnicos y principios de desagüe. Inc. Dpto. de Agricultura de Estados Unidos. México, Editorial Herrero, 1965. pp 537-538.
7. ESCOBAR, G., R. JURADO y R. GUERRERO. Propiedades físicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas del Altiplano de Pasto, Nariño, Colombia. Turrialba 22 (3) : 338-346. 1972
8. FORSYTHE, W. D. Manual de laboratorio de Física de Suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1972. 217 p.

9. GAVANDE, S. Física de suelos. México, Limusa-Wiley, 1972. 345 p.
10. GONZALEZ, M. A. Manual de laboratorio de suelos. Palmira, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1964. 96 p.
11. GRASSI, C. A. Manual de drenaje agrícola. Material de Enseñanza No. 63. Mérida, Venezuela, CIDIAT, 1969. 186 p.
12. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Boletín meteorológico. Publicación No. 8. 1973. 44 p.
13. ISRAELSEN, O. W. y H. HANSEN. Principios y aplicaciones de riego. Trad. del inglés por A. García P. Madrid, Editorial Reverté, 1965. 396 p.
14. KLUTE, A. Laboratory Measurement of Hydraulic Conductivity of Saturated Soil. In Black, C. A. ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. pp. 210-221.
15. LUTHIN, J. N. Drenaje de tierras agrícolas. Trad. del inglés por A. Blackalr. México, Limusa-Wiley, 1967. 684 p.
16. RICHARDS, L. A. Agua; su aprovechamiento en la agricultura. Trad. del inglés por J. Meza Nieto. México, Herrero, 1965. pp 157.
17. ROE, H. B. y AYRES, H. B. Drenajes agrícolas para ingenieros. Trad. del inglés por Mateo Sust. Madrid, Omega, 1960. 546 p.
18. SILVA, M. F. Métodos de análisis de laboratorio de suelos. Publicación IT - 6, Bogotá, Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1960 138 p.

A P E N D I C E

ALGUNAS CONDICIONES CLIMATICAS PROMEDIAS DE 1954 - 1973, PARA EL
ALTIPLANO DE PACTO, SEGUN REGISTROS DEL ICA (15).

Precipitación anual	848,3 mm
Evaporación anual (1973)	870,1 mm
Temperatura media anual	13,3°C
Humedad relativa	72,0%
Brillo solar	1.168,1 hor/año
Velocidad del viento	12,0 m/seg

DESCRIPCION DEL PERFIL 1

Municipio	: Pasto	Vegetación	: Pasto
Nombre del lugar	: Torobajo	Presencia de piedras	: No
msnm	: 2,537	Formación Ecológica	: Bosque húmedo montano
Relieve	: Ondulado	Material Geológico	: Rocas ígneas e- fusivas
Drenaje externo	: Medio	Estación Climática	: Período seco
Drenaje interno	: Medio	Fecha	: Mayo de 1974

Profundidad en cm	:	0 - 30
Color en seco	:	10 YR 3/2
Color en húmedo	:	5 YR 2/5
Textura	:	Franco
% de Arenas	:	51,76
% de Limos	:	14,91
% de Arcillas	:	33,32
% de Humedad	:	6,55

DESCRIPCION DEL PERFIL 2

Municipio	: Pasto	Vegetación	: Pastos
Nombre del lugar	: Botana	Presencia de piedras	: No
msnm	: 2.975	Formación Ecológica	: Bosque húmedo montano
Relieve	: Quebrado	Material Geológico	: Rocas ígneas e-fusicas
Drenaje externo	: Malo	Estación Climática	: Período seco
Drenaje interno	: Malo	Fecha	: Mayo de 1974

Profundidad en cm	:	0 - 30
Color en seco	:	10 YR 6/2
Color en húmedo	:	10 YR 3/2
Textura	:	Franco
% de Arenas	:	42,53
% de Limos	:	23,60
% de Arcillas	:	33,85
% de Humedad	:	4,52

DESCRIPCION DEL PERFIL 3

Municipio	: Pasto	Vegetación	: Pastos
Nombre del lugar	: Sena	Presencia de piedras	: No
msnm	: 2.670	Formación Ecológica	: Bosque húmedo montano
Relieve	: Ondulado	Material Geológico	: Rocas ígneas e- fusivas
Drenaje externo	: Medio	Estación Climática	: Período seco
Drenaje interno	: Malo	Fecha	: Mayo de 1974

Profundidad en cm	:	0 - 30
Color en seco	:	10 YR 4/3
Color en húmedo	:	5 YR 3/2
Textura	:	Franco
% de Arenas	:	42,92
% de Limos	:	19,01
% de Arcillas	:	37,98
% de Humedad	:	5,56

RELACIONES ENTRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS - SUELO TOROBAJO

X	Y	ECUACION	r	R (%)	n
Materia orgánica	Hv. P. S.	$Y = 21,77 + 3,86X$	0,3479	12,10	9
Materia orgánica	Densidad aparente	$Y = 0,4830 + 0,0821X$	5,6400	2,95	9
Materia orgánica	% Poros totales	$Y = 83,68 - 4,40X$	- 0,8640 ⁺⁺	74,64	9
Arcillas	Materia orgánica	$Y = 6,93 - 0,18X$	- 0,281	7,89	9
Arcillas	Hv. P. S.	$Y = 63,42 + 6,18X$	0,939 ⁺⁺	88,17	9
Arcillas	Densidad aparente	$Y = 0,9696 - 0,0092X$	- 0,106	11,23	9
Arcillas	% Poros totales	$Y = 54,775 + 0,684X$	0,160	2,78	9
Densidad aparente	K	$Y = 1,12 - 0,652X$	- 0,172	2,97	9
Arcillas	K	$Y = 0,923 - 0,023X$	- 0,0908	0,82	9
Hv. P. S.	K	$Y = 37,59 + 0,0037X$	0,087	0,75	9
Materia orgánica	K	$Y = 0,172 + 0,177X$	0,455	20,75	9
% Poros totales	K	$Y = 3,11 - 0,039X$	- 0,495	24,50	9

Hv. P. S. = Humedad volumétrica en el punto de saturación ; K = Conductividad hidráulica
⁺ = Significancia al 5% ; ⁺⁺ = Significancia al 1%

RELACIONES ENTRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS - SUELO BOTANA.

X	Y	EQUACION	r	R (%)	n
Materia orgánica	Hv. F. S.	$Y = 41,57 + 1,009X$	0,061	0,37	9
Materia orgánica	Densidad aparente	$Y = 1,36 + 0,316X$	0,316	10,00	9
Materia orgánica	% Poros totales	$Y = 59,43 - 7,51X$	- 0,678 ⁺	45,98	9
Arcillas	Materia orgánica	$Y = 2,62 - 0,048X$	- 0,270	7,32	9
Arcillas	Hv. F. S.	$Y = 4,04 + 1,654X$	0,559	31,29	9
Arcillas	Densidad aparente	$Y = 1,24 + 0,0011X$	0,1588	2,52	9
Arcillas	% Poros totales	$Y = 53,12 - 0,2083X$	- 0,1051	1,10	9
Densidad aparente	K	$Y = 1,704 - 1,52X$	- 0,4976	24,76	9
Arcillas	K	$Y = 0,265 - 0,0049X$	- 0,072	0,52	9
Hv. F. S.	K	$Y = 0,280 + 0,010X$	0,4383	19,21	9
Materia orgánica	K	$Y = 0,173 - 0,011X$	- 0,039	0,15	9
% Poros totales	K	$Y = 0,5646 - 0,0086X$	- 0,335	11,25	9

Hv. F. S. = Humedad volumétrica en el punto de saturación ; K = Conductividad hidráulica

+ = Significancia al 5%

+ = Significancia al 1%

RELACIONES ENTRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS - SUELO LOPE

- 67 -

X	Y	ECUACION	r	R (%)	n
Materia orgánica	Hv. P. S.	$Y = 81,049 - 7,98X$	- 0,3796	14,40	9
Materia orgánica	Densidad aparente	$Y = - 1,595 - 0,084X$	- 0,276	7,63	9
Materia orgánica	% Foros totales	$Y = 63,29 - 2,973X$	- 0,2416	5,84	9
Arcillas	Materia orgánica	$Y = 3,710 + 0,0084X$	0,004	0,0016	9
Arcillas	Hv. P. S.	$Y = 40,32 + 0,625X$	0,1056	1,115	9
Arcillas	Densidad aparente	$Y = 0,903 + 0,0093X$	0,1264	1,59	9
Arcillas	% Foros totales	$Y = 48,83 - 0,2056X$	- 0,055	0,302	9
Densidad aparente	K	$Y = 1,205 - 1,82X$	- 0,201	4,040	9
Arcillas	K	$Y = 3,25 - 0,211X$	- 0,3655	13,364	9
Hv. P. S.	K	$Y = 2,313 + 0,0583X$	0,6311 ⁺	39,82	9
Materia orgánica	K	$Y = 4,774 - 1,128X$	- 0,569	32,34	9
% Foros totales	K	$Y = 1,176 - 0,0077X$	- 0,049	0,24	9

Hv. P. S. = Humedad volumétrica en el punto de saturación ; K = Conductividad hidráulica

+ = Significancia al 5%

++ = Significancia al 1%

T

AN

16.880

631.62

C352 Castillo Barrera Salomón

Ej. 1. Determinación de la conducti-
vidad Hidráulica en 3 suelos de Pasto

VENCE

NOMBRE

Nº del Carnet

NOMBRE

Nº del Carnet

NOMBRE

Nº del Carnet

NOMBRE

Nº del Carnet

NOMBRE

Nº del Carnet

NOMBRE

Nº del Carnet

NOMBRE

AN

T

631.62

C352

Ej.1.

16880