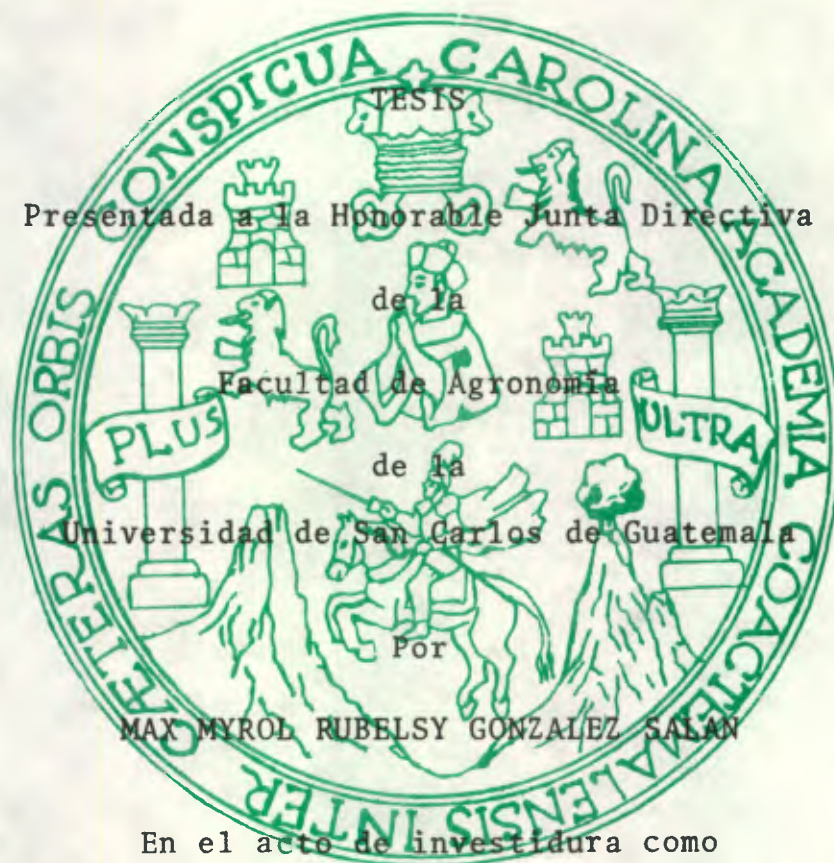


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

**BIBLIOTECA CENTRAL-USAC  
DEPOSITO LEGAL  
PROHIBIDO EL PRESTAMO EXTERNO**

"DIAGRAMAS DE POROSIDAD DE SIETE SERIES DE SUELOS  
DEL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA"



INGENIERO AGRONOMO

En el grado académico de  
LICENCIADO EN CIENCIAS AGRICOLAS

Guatemala, Agosto 1980

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central  
Sección de Tesis

01  
T(447)  
C-3

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
RECTOR EN FUNCIONES

Lic. Romeo Alvarado Polanco

JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

DECANO	Dr. Antonio Sandoval S.
Vocal 1o.	Ing. Agr. Orlando Arjona
Vocal 2o.	Ing. Agr. Salvador Castillo
Vocal 3o.	Ing. Agr. Rudy Villatoro
Vocal 4o.	P. A. Efraín Medina
Vocal 5o.	Prof. Edgar Franco
SECRETARIO	Ing. Agr. Carlos Salcedo

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN  
GENERAL PRIVADO

Decano a.i.	Ing. Agr. Rodolfo Estrada
Examinador	Ing. Agr. Arnulfo Hernández
Examinador	Dr. José de Jesús Castro
Examinador	Ing. Agr. Vicente Ibáñez
Secretario a.i.	Ing. Agr. Oscar González H.



Referencia .....
Asunto .....

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

7 de agosto de 1980.

Dr. Antonio Sandoval S.  
Decano de la  
Facultad de Agronomía.  
PRESENTE.

Apreciable Sr. Decano:

En cumplimiento con la designación que me hiciera el decanato bajo su digno y acertado cargo, me complace en hacer de su conocimiento que he asesorado al Perito Agrónomo MAX MYROL GONZALEZ SALAM en la planificación y desarrollo de su trabajo de tesis titulado: "DIAGRAMAS DE POROSIDAD DE 7 SERIES DE LOS SUELOS DEL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA".

Se presenta este trabajo como el primero en su género realizado en Guatemala. Si bien, no está enmarcado totalmente dentro del método científico, sus resultados son de interés técnico-práctico pues dejan la base para quienes tengan la inquietud de demostrar la importancia de la porosidad del suelo al tratar de correlacionar el diagrama de porosidad con las exigencias de agua y respiración de los cultivos, sobre todo en suelos sometidos a riego en los distintos distritos de la república.

Además, el presente trabajo lo conceptúa el autor como el punto de partida para realizar una serie de investigaciones con diferentes variantes en relación a la porosidad del suelo y su afinidad con la textura, estructura, y a su vez con el comportamiento del agua, aireación, conducción de calor y temperatura cuya presencia de estos parámetros en el suelo coadyuvan al rendimiento de los cultivos.

Finalmente, se considera el mencionado trabajo de tesis como una buena fuente de consulta en el campo docente de la carrera de Ingeniería Agronómica, especialmente para quienes se interesen en el suelo y lleguen a comprender la gran importancia que éste tiene dentro de la ecuación edáfica: relación suelo-planta-agua.

Por lo anteriormente expuesto, opino que el trabajo de tesis desarro-



Referencia	.....
Asunto	.....
	.....

FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

-II-

llado por el Perito Agrónomo Myrol González Salam, cumple con todos los requisitos que debe llenar una tesis de graduación a nivel universitario y en consecuencia recomiendo que el mismo le sea aprobado para su discusión y defensa que el autor debe sustentar en el Examen General Público en su acto de graduación.

Sin otro particular, aprovecho para suscribirme del Sr. Decano con muestras de consideración y aprecio.

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

Ing. Agr. Salvador Castillo O.

Coordinador Sub-área Manejo y Uso de Suelo y Agua.

ASESOR.

SCC/jjs.

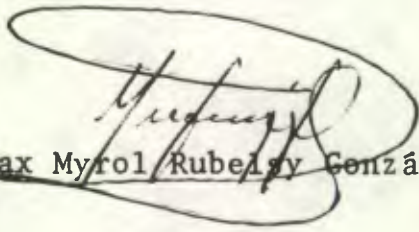
Guatemala, agosto de 1980

HONORABLE JUNTA DIRECTIVA  
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

De conformidad a lo que establece la Ley Orgánica - de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado: "DIAGRAMAS DE POROSIDAD DE SIETE SERIES DE SUELOS DEL VALLE DE LA FRAGUA, ZACAPA".

Presentándolo como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en el grado académico de Licenciado en Ciencias Agrícolas.

Deferentemente,

  
Max Myrol Rubelzy González Salán

ACTO QUE DEDICO

A LA NATURALEZA, SU CREACION, EVOLUCION Y TRANSFORMACION.

A LA MEMORIA DE MI MADRE:           María del Socorro Salán de  
González (Q.E.P.D.)

A MIS HERMANOS                       Max Edgar, Byron, Rony,  
Mirna, Anabela, Sandra y  
Sergio

A MIS TIOS

A MIS PRIMOS

A MIS SOBRINOS

A MIS CUÑADOS Y CUÑADAS

A LA FAMILIA                         Matricardi Salam

A   Ligia Elié

A   Guatemala y su Proletariado

A   Víctor Hugo Méndez,  
Maxdelio Herrera,  
Luis Fernando Girón

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS EN GENERAL

## AGRADECIMIENTO

A la Región VII del ICTA, por su colaboración en la etapa de campo de la presente tesis.

Al Laboratorio de Suelos de la Unidad de Estudios y Proyectos de la Dirección de Recursos Naturales Renovables, (DIRENARE), por su asesoramiento en la determinación de los análisis correspondientes; en especial a Leonardo Contreras Ralda.

Al Ingeniero Agrónomo Salvador Castillo por la asesoría, revisión y corrección del presente trabajo de tesis. Además, por su loable labor docente en la Facultad de Agronomía.

## R E S U M E N

Se propone un diagrama de porosidad del suelo que además de los valores de porosidad total, capilar, no capilar y capacidad para agua aprovechable, contiene también la capacidad de imbibición, la porosidad estructural y la porosidad textural.

Los ejemplos incluidos indican que el diagrama propuesto permite enriquecer la información teórico-práctica sobre las características del suelo, relacionadas con la economía del agua, la aireación, la penetrabilidad por las raíces y la conductividad calórica.

De sumo interés se considera la metodología por desplazamiento de mercurio, para la determinación de la contractibilidad de los suelos.



## CONTENIDO

	Pág.
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS	4
III. REVISION DE LITERATURA	5
IV. METODOLOGIA	32
V. RESULTADOS	51
VI. DISCUSION DE RESULTADOS	51
VII. CONCLUSIONES	60
VIII. RECOMENDACIONES	61
IX. BIBLIOGRAFIA	62

## I. INTRODUCCION

F. HARDY (1970), expresa que "desde el punto de vista de las relaciones entre las raíces y el suelo, éste debe ser considerado como un medio poroso antes que un medio granular, que es el aspecto más comunmente puntualizado". Así mismo, considera que el espacio poroso total y el espacio poroso capilar son las características físicas más importantes en un suelo. En efecto, la porosidad de un suelo influye sobre los siguientes aspectos:

- Aspectos hídricos:
  - capacidad de retención de agua
  - aprovechabilidad de agua retenida
  - dilución, aprovechamiento y movilidad de nutrientes
- Aspectos mecánicos:
  - penetrabilidad del suelo por las raíces
- Aspectos gaseosos:
  - difusión de gases, especialmente oxígeno y bióxido de carbono
- Aspectos térmicos:
  - conductividad calórica
- Otros como:
  - conductividad hidráulica, permeabilidad

El mismo HARDY (1970), ha propuesto diagramas de porosidad que son de gran utilidad para expresar en forma clara las relaciones del suelo con el agua. Estos diagramas son volumétricos e indican:

- El porcentaje de materia sólida
- La porosidad total

- La porosidad capilar y,
- El volumen que puede ser ocupado por agua aprovechable

Además del valor que tienen estos diagramas como datos de caracterización agronómica del suelo, ellos permiten, conociendo el porcentaje de humedad, saber en qué estado se encuentra el suelo en sus relaciones hídricas con el cultivo en un momento dado.

En el presente trabajo se propone un diagrama volumétrico de porosidad que además de los datos consignados en los diagramas de HARDY (1970), proporcionan otras tres características de la porosidad que se estiman de interés. Ellas son:

- El volumen ocupable por agua de imbibición
- El porcentaje de porosidad estructural y,
- El porcentaje de porosidad textural

A continuación se definen estos parámetros:

#### 1. Volumen Ocupable por Agua de Imbibición

El agua de imbibición es aquella absorbida por los coloides del suelo ya sea en forma intermicelar o intramicelar (BAVER, 1972). Al absorber esta humedad - las arcillas aumentan de volumen a costa del espacio ocupado por los macroporos y las grietas cuando el suelo está seco. Esta agua es capilar ya que es retenida en poros de tamaño capilar; sin embargo, no toda el agua capilar es agua de imbibición, ya que también existe agua retenida en poros texturales de tamaño capilar (BAVER, 1972). Los suelos que tienen arcillas montmorilloníticas y los suelos sódicos son capaces de absor

ber gran cantidad de agua por imbibición y como consecuencia disminuyen grandemente de volumen produciéndose el agrietamiento cuando se secan. Pero, aunque las arcillas no sean predominantemente montmorilloníticas o los suelos no sean sódicos, casi todos estos presentan en mayor o menor grado el fenómeno de contractibilidad.

Como el agua de imbibición disminuye a medida que el suelo se seca y se contrae, el espacio poroso no capilar va aumentando en la misma medida; ello se traduce en una mejor aireación del suelo y una mayor penetrabilidad por parte de las raíces. También el agua de lluvias o de riego podrá penetrar con cierta facilidad antes de que el suelo se sature nuevamente. Es posible que una contractibilidad exagerada presente algunos aspectos negativos, tales como la destrucción de raicillas y aceleración de la desecación del suelo. Por todos estos motivos, se ha estimado que el volumen del suelo ocupable por el agua de imbibición es un dato de interés práctico digno de considerarse en los diagramas de porosidad.

## 2. Porosidad Textural y Estructural

Si el suelo se dispersa en forma similar a lo que se hace en la determinación del Punto de Adherencia, los poros que corresponden a la estructura del suelo desaparecerán quedando solamente los poros "texturales", los que son inherentes a la granulometría del suelo. Esto permite distinguir la porosidad "estructural" de la porosidad "textural".

Para medir la porosidad "textural" debe medirse la densidad aparente del suelo en estado disperso.

En general, la densidad aparente del suelo será mayor en estado disperso que en estado natural debido a la pérdida de poros "estructurales".

## II. OBJETIVOS

1. Determinación de los diagramas de porosidad de siete series de suelos del Valle "La Fragua", Zacapa.
2. Se tiene la inquietud de dejar algunas bases cuyo valor pueda servir para futuros estudios en la relación suelo-agua-planta, y que tengan como finalidad la aplicación del concepto de porosidad principalmente en la agricultura bajo riego.

### III. REVISION DE LITERATURA

#### 1. GENESIS DE LA ESTRUCTURA Y DE LA POROSIDAD DEL SUELO

El suelo está constituido por partículas elementales, tanto minerales como orgánicas, de diferente tamaño, forma y composición química. Estas partículas, principalmente las minerales, determinan su textura, de la cual se derivan la reserva potencial de nutrientes, pH, poder tampón y otras propiedades tanto físicas como químicas.

La disposición espacial que adoptan las partículas condiciona la existencia de un determinado volumen de huecos interconectados en todas las direcciones que confieren al suelo la condición de ser un medio poroso.

Las partículas elementales (arena, arcilla, limo, materia orgánica, óxidos e hidróxidos minerales, etc.) suelen formar agregados con una configuración determinada que deciden el volumen y las formas del espacio poroso. Por consiguiente, la estructura como la porosidad tienen una génesis común.

En un suelo disperso, la floculación es esencial para la formación de agregados; por el contrario, si el suelo se halla parcialmente compacto, la fragmentación es indispensable.

Por la importancia que conlleva la formación de agregados, se tratará la acción de los factores que intervienen en la misma, pues no debe olvidarse que la agregación de particular coadyuva la formación de la estructura del suelo.

## 1.1. Aspectos Físico-químicos de la Formación de la Estructura

Dada la complejidad y recíproca interferencia de los múltiples fenómenos que intervienen en el proceso de formación de la estructura, se mencionan a continuación sólo aquellos aspectos más relevantes del problema.

### 1.1.1. Efectos de la materia orgánica

La materia orgánica, no participa como tal directamente en este proceso, sino que lo hace a través de productos de síntesis (polisacáridos) o de descomposición (ácidos húmicos) por actividad de microorganismos.

La materia orgánica no actúa de forma aislada. De especial interés es el efecto combinado del humus con moléculas de aminoazúcares formando polímeros muy estables.

El efecto de agregación más fuerte corresponde a las sustancias húmicas de peso molecular mayor de 100,000.

Se llama la atención sobre el hecho de que el efecto de la materia orgánica es decisivo aunque temporal, por las múltiples y rápidas transformaciones que sufre, tanto por efectos climáticos, como por biológicos ante la constante destrucción por ataque microbiano.

### 1.1.2. Efectos de la fracción arcilla

Cuando el porcentaje de materia orgánica

es reducido, a la acción de la arcilla y de los compuestos de hierro se debe la existencia de agregados de gran tamaño. Recíprocamente, para altos contenidos de materia orgánica el papel de la arcilla es de menor importancia.

PETERSON, citado por ARRUE (1976), ha encontrado que las arcillas de tipo montmorillonita dan lugar a agregados equidimensionales, mientras las caolinitas desarrollan una estructura laminar.

En cualquier caso, la eficacia de la arcilla es indiscutible en la formación de agregados. RENGER, citado por ARRUE(1976) basado en regresiones matemáticas ha confirmado que la acción agregadora de la arcilla guarda relación directa con su superficie específica. El estima la distribución del tamaño de poros a partir del contenido de arcilla, limo y del grado de compactación.

### 1.1.3.Efectos de los coloides de hierro y de aluminio

La acción individualizada de los óxidos de hierro y de aluminio es más notoria en suelos con bajo contenido de materia orgánica (latosoles).

Cuando los ácidos húmicos forman complejos con el hierro su efecto es muy importante. JAMBU y Col., citados por ARRUE,



(1976), han encontrado hasta 800 meq. Fe/100 g. de ácido húmico, alcanzando una proporción más elevada cuando el material está flocculado.

Cuando el grado de desecación es avanzado, los geles de hidróxido de hierro actúan como un enérgico agente cementante.

Mientras que algunos autores dan mayor importancia a la formación de compuestos organo-minerales como agentes de agregación, otros dan más importancia a la interacción entre los óxidos (positivos) y las arcillas (negativas).

#### 1.1.4. Efecto de los cationes de cambio y carbonatos

Su influencia radica en la capacidad de flocculación del material coloidal responsable de la cementación de las partículas primarias.

La acción flocculante de éstos es mayor en el sentido  $M^+$ ,  $< M^{++}$ ,  $< M^{+++}$ , donde M = a contenido de sales; así, en suelos sódicos con un exceso de sales solubles ( $NaCl, Na_2SO_4$ ) se mantiene el estado de flocculación del material coloidal, en cambio si se han lavado las sales, el material coloidal saturado en  $Na^+$  se hidroliza formando  $NaOH$  o  $Na_2CO_3$  y se crea una dispersión que empeora la formación y la estabilización de agregados y por lo tanto, las propiedades físicas en general.

El  $\text{CaCO}_3$  actúa como agente cementante si está finamente dividido, llegando a formar concreciones y costras. La acción del  $\text{Ca}^{++}$  en la formación de agregados es indirecta; su efecto consiste en servir como catión - de enlace en los complejos arcillo-orgánico (EDWARDS y BREMNER, 1967).

Por su parte, BERGLUD citado por ARRUE, (1976) llega a la conclusión de que el  $\text{CaO}$  y el  $\text{Ca(OH)}_2$  mejoran la estabilidad, no así el  $\text{CaCO}_3$ .

Para KAURICHEV y GANZHARA (1972), el efecto del  $\text{CaO}$  en los horizontes superficiales, se debe a la disminución que provoca de ácido húmico y al aumento del fúlvico.

En cuanto al proceso de fragmentación, éste suele deberse a las siguientes causas:

- a) Alternancia de hinchamiento y contracción, que se origina por los ciclos de humectación y desecación.
- b) Presiones locales, por acción de las heladas.
- c) Compresiones, debidas a las raíces.
- d) Efecto de las labores de cultivo.
- e) Acción de la fauna, en especial de las lombrices de tierra.

## 2. DEFINICION DE LA POROSIDAD. VOLUMEN TOTAL DE POROS

El modelo del "Suelo Ideal" considerado por VERSHININ y Col., citados por ARRUE (1976), en el estudio de las leyes que regulan el movimiento y retención de humedad a través de los poros, reúne las siguientes condiciones:

- a) Está constituido por partículas elementales esféricas del mismo diámetro.
- b) La porosidad depende del tipo de empaquetamiento de las partículas y no de su tamaño.

Así, la mínima compactación o disposición más suelta, corresponde al empaquetamiento cúbico y su porosidad representa el 48% del volumen total; mientras que el empaquetamiento hexagonal representa el 26% de porosidad.

La posibilidad de aplicar este modelo a condiciones naturales es reducida por lo siguiente:

- a) Las partículas no son esféricas
- b) Son heterogéneas en tamaño
- c) Se agrupan en agregados y se presentan fenómenos de superficie

Hechas estas consideraciones, es fácil imaginar un bloque de suelo de masa total  $M_t$  y volumen total  $V_t$ , dividido en tres fracciones:

fase sólida ( $M_s, V_s$ ); fase líquida ( $M_l, V_l$ ) y fase gaseosa ( $M_a, V_a$ ).

De este esquema se definen las relaciones existentes entre las tres fases. La densidad de la fase sólida o densidad real (Dr) está dada por la relación:

$$Dr = \frac{M_s}{V_s} \quad ( 1 )$$

Este valor oscila entre 2.5-2.7 g/cc. en suelos minerales cultivados y hasta 1 g/cc. en suelos ricos en materia orgánica.

La densidad aparente (Dap) es la relación entre la masa de la materia sólida y el volumen total, - incluidas las fases líquida y gaseosa:

$$Dap = \frac{M_s}{V_s + V_l + V_a} \quad ( 2 )$$

Este valor oscila fuertemente de un tipo de suelo a otro, dependiendo de los siguientes factores:

- a) Textura
- b) Contenido de materia orgánica
- c) Grado de compactación
- d) Contenido de humedad
- e) Estado de hinchamiento o contracción

La porosidad puede expresarse en base a lo expuesto de la siguiente forma:

$$p = \frac{V_p}{V_t} = \frac{V_l + V_a}{V_t} \quad ( 3 )$$

$V_p$  = volumen total de poros.

o bien:

$$p = \frac{V_t - V_s}{V_t} \quad (4)$$

Despejando  $V_s$  y  $V_t$  de las expresiones (1) y (2) para sustituirlos en (4), y considerando el volumen total de suelo como 100, se obtiene el valor de la Porosidad Total (% P.T.) a partir de las densidades real y aparente, según la expresión:

$$\% \text{ P.T.} = (1 - D_{ap}/D_r) 100 \quad (5)$$

### 3. CRITERIOS DE CLASIFICACION DE LA POROSIDAD. TIPOS DE POROS

La mayoría de ellos responden a dos criterios fundamentales:

- a) El Pedológico, que toma en cuenta: origen, forma, tamaño, abundancia y distribución de los poros en el perfil. Se ha desarrollado sobre estudios de génesis y clasificación de suelos y tienen un carácter descriptivo y cualitativo.
- b) El Agro-pedológico; que considera la función específica que realizan los poros en relación a su diámetro. Se ha desarrollado sobre trabajos de física de suelos y agronómicos, y son estrictamente cuantitativos.

### 3.1. Criterios Pedológicos

#### 3.1.1. Clasificación de los poros según su origen

- a) Poros texturales: son los existentes entre las partículas primarias (microporos).
- b) Poros estructurales: se encuentran en el interior de los agregados (macroporos).
- c) Poros específicos: son los producidos por la fauna, la flora del suelo y el efecto de la difusión de gases en el perfil.

KOPP, citado por HENIN (1964), clasifica los macroporos genéticamente así:

- a) Mesoporos: los debidos a la textura.
- b) Platiporos: los originados por la estructura.
- c) Megaporos: los producidos por macrofauna y macroflora.

#### 3.1.2. Clasificación de los poros según su tamaño y abundancia

Todas las clasificaciones hechas acá se basan en el diámetro del poro. La clasificación más simple fue propuesta por SCHUMACHER en 1864 y comprende:

- a) Poros capilares
- b) Poros no capilares con un límite in termedio de 9  $\mu$  mm.

ODEN, citado por ARRUE (1976), establece la siguiente clasificación:

- a) Poros gruesos, mayor que 200  $\mu$  mm.
- b) Poros medios , 200 - 20  $\mu$  mm.
- c) Poros finos , 20 - 2  $\mu$  mm.
- d) Microporos , 2 - 0.2  $\mu$  mm.
- e) Ultramicroporos, menor que 0.2  $\mu$  mm.

La clasificación de JOHNSON y Col. - (1960) junto con la del "Soil Survey - Manual" (1951), han constituido la base de la clasificación propuesta por la F.A.O. (1966), para descripción de perfiles de suelos especialmente. Ver cuadro No. 1.

### 3.1.3. Clasificación de los poros según su forma, distribución, orientación y continuidad

Por su forma; se clasifican los poros descriptivamente en:

- a) Vesiculares
- b) Tubulares o intersticiales

Por su distribución; pueden ser:

- a) Intrapedales o imped (dentro de los agregados)

- b) Interpedales o exped (entre los agregados)
- c) Transpedales (sin relación con los agregados)

Por su orientación; los poros estructurales pueden ser:

- a) Horizontales
- b) Verticales
- c) Oblicuos
- d) Caóticos, continuos o discontinuos

La clasificación micromorfológica de BREWER (1964) distingue lo siguiente:

- a) Huecos de empaquetamiento (simples o compuestos)
- b) Cavidades
- c) Vesículas
- d) Cámaras
- e) Grietas (regulares, oblicuas o irregulares)
- f) Canales

Para cada una de estas clases BREWER (1964) define términos relativos a:

- a) Su distribución
- b) Orientación
- c) Forma (razón de ejes)
- d) Configuración de las paredes y suavidad de los contornos.



CUADRO # 1

CLASIFICACION DE POROS PARA LA DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELO, SEGUN JOHNSON Y COL. (1960)  
Y F.A.O. (1966)

CLASES					MORFOLOGIA	
Diámetro (mm)	Abundancia	Continuidad	Orientación	Distribución	Tipo	modificación
Micro < 0.075	Pocos		Verticales		Vesiculares	-----
Muy finos 0.075	1-50/dm <sup>2</sup>	Continuos		Imped	Inter ticia les	{ abiertos cerrados
Finos 1 - 2	Frecuentes 50-200/dm <sup>2</sup>		Oblicuos			
Medianos 2 - 5	Muchos	Discontinuos	Caóticos	Exped	Tubu- lares	{ Simples Dendríticos abiertos cerrados
Gruesos > 5	> 200/dm <sup>2</sup>					

### 3.2. Criterios Agro-pedológicos

La distribución de fracciones de poros desde un punto de vista agronómico considera principalmente la contribución de cada uno en los fenómenos de: a) aireación, b) circulación de agua y c) retención de humedad en el suelo.

La base de estas clasificaciones consiste en calcular la distribución de los poros por la acción de fuerzas de succión.

En la actualidad, las clasificaciones de poros más simples consideran como tensiones (succión) críticas límites las equivalentes a: 100 cm. de agua (pF 2.0), 1/3 atm. (pF 2.5) y 15 atm. (pF 4.2).

La relación entre el diámetro de los poros, el valor pF correspondiente y la función del poro, citada por SCHEFFER y SCHACHTSCHABEL (1970), es la siguiente:

<u>Función del Poro</u>	<u><math>\emptyset</math> <math>\mu</math> mm</u>	<u>pF</u>
a) Poros de agua móvil gravitacional	> 5.6	0.0-2.71
b) Poros de agua móvil capilar y muy poco gravitacional	5.6-0.2	2.71-4.15
c) Poros de agua prácticamente inmóvil	< 0.2	> 4.15

Una clasificación de mayor detalle es propuesta por DE LEENHEER, citado por JEANSON (1971).

<u>Función del Poro</u>	<u><math>\emptyset</math> <math>\mu</math> mm</u>	<u>pF</u>
a) Aireación y drenaje rápido e instantáneo	3000-300	0.0-1.0
b) Drenaje medio	300- 30	1.0-2.0
c) Drenaje lento	30- 9	2.0-2.54
d) Retención de agua útil débilmente ligada	9- 1	2.54-3.49
e) Retención de agua útil fuertemente ligada	1-0.2	3.49-4.19
f) Retención de agua no útil	$< 0.2$	$> 4.19$

Otras clasificaciones consideran los diversos tipos de poros asociados a los agregados del suelo. Así, KATCHINSKI, citado por ARRUE (1976), estima la porosidad como la suma de la porosidad entre los agregados (porosidad de aireación y parte de porosidad capilar) y de la porosidad total dentro de los agregados (parte de la porosidad capilar, la porosidad de retención de agua débilmente ligada y la porosidad de retención de agua fuertemente ligada).

CUADRO # 2

Clasificación de Tamaños de Poros (SMART)

pF	Función del poro	Clases		Ø ( $\mu$ m )
0	Lombrices	Gruesos	M	6000
			I	2000
		Medios	N	
			I	600
1	Visibles	Finos		
		-----		200
		Gruesos M		
Capacidad de campo -----	Drenaje libre			A
				60
2-----	Raíces	Medios C		
				R
		Finos O		20
Humedad equi valente -----		-----		6
		3		
		Gruesos	M	
			I	2
		Medios	C	
			R	0.6
4 % de marchi tez	Bacterias	Finos O		
		-----		0.2

Como un intento de unificar los criterios pedológicos y agro-pedológicos de clasificación, SMART, citado por ARRUE (1976), propone la clasificación que se muestra en el cuadro No. 2.

De todo lo anteriormente indicado se deduce que la mayoría de las clasificaciones desde el punto de vista agronómico incluyen categorías de poros hasta un diámetro equivalente de  $2 \mu$  mm (pF 4.2). En efecto, el volumen de poros de este tamaño es el responsable de la retención de agua no directamente utilizable, pero que puede ser movilizada en parte en forma de vapor hacia tensiones más débiles, en presencia de gradientes térmicos y más tarde accesible a las plantas. Además, se encuentra ligado a la textura y especialmente, al contenido de arcillas, responsable de los fenómenos de absorción-desorción de agua y de los de hinchamiento-contracción.

#### 4. SITUACION DE LOS POROS EN EL PERFIL, INFLUENCIA DE LA GENESIS Y COMPOSICION DE LOS HORIZONTES.

Sobre la tipología de la porosidad, en función de las características genéticas y estructurales de diversas clases de suelos, existe un gran número de trabajos. De éstos, se deduce que la porosidad puede oscilar ampliamente; así, en suelos minerales va desde 25% hasta un 80% y en las turbas el máximo puede superar el 90%.

La relación entre la porosidad y el tipo de suelo queda determinada por el cultivo que éste soporte. En general, los horizontes superficiales poseen mayor porosidad total y mayor volumen de poros grandes, que los más profundos. Sin embargo, esto no siempre es así. DEZSO, citado por ARRUE (1976), ha encontrado que la porosidad total es más elevada en el subsuelo que en la capa arable.

El descenso de la porosidad total con la profundidad a expensas del volumen de poros gruesos, tiene lugar únicamente en los suelos de textura uniforme. Además de la textura, la formación de agregados determina la distribución heterogénea de la porosidad. A mejor estructura, mayor porosidad total.

Existe un elevado grado de correlación entre la porosidad total y el nivel de humificación de los horizontes del suelo.

A un mayor contenido de materia orgánica, se encuentra una porosidad total más elevada, con reducción del volumen de poros de aireación e incremento del de poros ocupados por agua útil.

También existe correlación entre los valores de porosidad total y el contenido de elementos finos; cuando los suelos se agrupan por clases texturales, un descenso en el volumen de poros gruesos acompaña a un aumento de porosidad total, a medida que crece el porcentaje de limo + arcilla (texturas finas).

## 5. PROPIEDADES DEPENDIENTES DE LA POROSIDAD

La porosidad está constituida por dos fracciones: la porosidad estructural (macroporosidad) que incluye a las fracciones responsables de la a) aireación, b) drenaje y c) circulación de agua, y la porosidad textural (microporosidad) que condiciona la retención de humedad.

### 5.1. Capacidad de Aireación y Drenaje

La aireación del suelo, considerada como el intercambio entre el CO<sub>2</sub> de su fase gaseosa y el O<sub>2</sub> atmosférico, depende en gran medida de la estructura del perfil.

WESSELING y VAN WIJK (1957), consideran que un volumen relativo de poros de aireación de un 10% es el umbral mínimo que permite un buen intercambio gaseoso, aunque el tipo de suelo, cultivo y condiciones climáticas, influyen sobre el grado de aireación; basado en la determinación cuantitativa de la porosidad estructural, HARDY (1970), considera los siguientes límites:

a) Aireación buena a moderada	20-10 %
b) Aireación moderada a deficiente	10- 5 %
c) Aireación deficiente a nula	< 5 %

En definitiva, es el cultivo el que exige la presencia de una macroporosidad mínima. KODECKY, citado por HENIN y Col. (1972), con

sidera para un crecimiento normal de trigo y avena un 10-15% de poros de aireación, para cebada y remolacha 15-20% de poros de aireación.

Finalmente, una adecuada aireación proporciona:

- a) La atmósfera precisa para el desarrollo normal del sistema radicular.
- b) Una mejor respiración de los microorganismos del suelo que mantiene una buena actividad biológica.
- c) Una mejor oxidación de residuos de plantas y animales, así como interviene en los procesos de nitrificación del nitrógeno atmosférico.

## 5.2. Conductividad Hidráulica

Los factores que controlan el movimiento del agua actúan en todas direcciones de modo que éste puede tener lugar horizontal o verticalmente y en sentido ascendente o descendente. Por otra parte, está condicionado por el propio grado de humedad del suelo, pudiendo realizarse en condiciones de saturación o de insaturación.

La conductividad hidráulica es la capacidad del suelo de transmitir agua a su través, y su medida, en condiciones de saturación, es un reflejo indirecto del estado de agregación.



Si se tiene en cuenta que la permeabilidad es una propiedad característica de todo sistema poroso, la conductividad hidráulica dependerá en gran medida de la porosidad, especialmente de la distribución de tamaños de los poros, de su forma y de la superficie específica interna.

Se han propuesto expresiones para calcular la conductividad hidráulica a partir de la distribución de tamaños de los poros, pero su empleo ha sido muy limitado en suelos arenosos y limosos que no sufran expansión. Una de las expresiones más comunes es la de CARMAN, citado por RODE(1969).

$$K = \frac{F^3}{C a^2 (1-F)^2}$$

en donde  $F$  es la porosidad total,  $a$  es la superficie específica y  $c$  una constante que representa el factor de forma de las partículas.

### 5.3. Capacidad de Retención de Humedad

Cuando el suelo está saturado, el agua alcanza a rellenar los poros más gruesos. Conforme se deseca, el diámetro del poro de retención disminuye, la circulación del agua se hace más lenta y la fuerza de retención aumenta. La medida de esta fuerza ( $pF$ ) es una medida indirecta del diámetro del poro.

Las fuerzas que controlan la retención de humedad son predominantemente capilares, salvo en situaciones especiales, tales como un avanzado grado de desecación del suelo, en que se debe fundamentalmente a la fuerza de adsorción, o en presencia de un elevado contenido en sales solubles, donde la fuerza dominante será de naturaleza osmótica.

La capacidad de campo que es el porcentaje de humedad retenido después de haberse perdido por drenaje libre toda el agua gravitacional, queda determinada por poros de  $9 \mu$  mm de diámetro, correspondiente a una tensión capilar de  $1/3$  de Atm. y a un pF de 2.54; mientras el porcentaje de marchitez permanente, que es el porcentaje de humedad que presenta el suelo después de que las plantas han llegado a una situación irreversible de desecación, queda determinado por poros de  $0.2 \mu$  mm de diámetro, correspondiente a 15 Atm. y a un pF de 4.2

Estas dos constantes límites determinan la llamada: Capacidad de agua útil.

## 6. DINAMICA NATURAL DE LA POROSIDAD

Las variaciones estacionales de la porosidad son debidas en esencia por los mismos agentes que participan en el desarrollo genético de la estructura.

Puede citarse en primer lugar el papel del ciclo humectación-desección, especialmente en los suelos de alto contenido de arcilla en los que se originan fenómenos de expansión-contracción, alterando el estado de agregación y la porosidad.

Por esta misma causa, también los riegos continuos e intensos originan cambios en la porosidad de la capa arable, presentando diferencias que los distingue de los que se mantienen en secano.

Por otra parte, la contracción del suelo como consecuencia de la desecación originada por los cultivos lleva consigo una compactación de las partículas, con descenso de la porosidad, mientras que el aumento de humedad produce el fenómeno contrario.

Si bien lo anterior se cumple en la mayoría de los suelos, DE LEENHEER citado por JEANSON (1971), observa en suelos de textura franca, que la desecación origina un aumento de la porosidad total en los primeros centímetros de la capa arable, un aumento del volumen de poros de drenaje rápido, un descenso del contenido de humedad a capacidad de campo y un ligero descenso del PMP y de la capacidad de agua útil. HENIN y Col. (1972), encuentran que la relación entre hinchamiento y estabilidad estructural está vinculada a la destrucción de agregados de gran tamaño, así mismo, el hinchamiento actúa sobre la conductividad hidráulica, cuyo valor desciende en suelos ricos en materiales expansibles por relleno de los poros de drenaje por dichos materiales.

El contenido de humedad del suelo es un factor que determina la amplitud de la expansión. SUNKEL citado por ARRUE (1976), confirma la correlación entre contenido de humedad y pF por un lado y entre estos valores y el porcentaje de hinchamiento o contracción por otro.

Por otra parte, la contracción y expansión está estrechamente ligada con la tipología y composición granulométrica del suelo.

Mientras que en suelos arenosos se permite la formación de esqueletos más o menos rígidos que evitan la contracción a bajos contenidos de humedad, en los suelos arcillosos existe una correlación positiva ya que su contractibilidad aumenta conforme se pierde la humedad.

Ahora bien, de todas las fracciones texturales, la arcilla es la que condiciona de modo preferente la expansión y contracción. KOEPF, citado por ARRUE (1976), no observa agrietamiento en suelos con un contenido de 9% de arcilla.

En los suelos arcillosos la expansión-contracción depende de la cantidad y naturaleza de la arcilla.

Según YONG y WARKETIN citados por ARRUE (1976), los suelos que contienen minerales montmorilloníticos pueden absorber grandes cantidades de agua y ser capaces, por tanto, de contraerse considerablemente al desecarse.

Existen diversos criterios para la medida de la variación del volumen de los suelos. Una de las medidas más usuales en la actualidad es el llamado: Coefficiente de extensibilidad lineal o de CODE GROSSMAN y Col.(1968).

Se refiere a la variación natural del volumen que experimentan los suelos, desde la situación de máxima humectación a la de máxima desecación, a lo largo del año.

Como consecuencia del efecto de otros factores puede considerarse que la compactación es la última causa que determina la modificación de la porosidad.

La compactación es un fenómeno que suele presentarse con el paso del tiempo y su intensidad depende de una serie de factores como son; el tipo de suelo, textura, cultivo, etc.

El efecto de ésta se refleja en un aumento de la densidad aparente y en consecuencia, en un descenso de la porosidad total. Por otro lado, la compactación va acompañada de un descenso de la macroporosidad a expensas de un aumento de la microporosidad. Esto da lugar a un descenso de la permeabilidad del suelo al aire y al agua en las zonas afectadas del perfil.

HARTGE, citado por ARRUE (1976), distingue dos tipos de compactación en función de su génesis:

a) La compactación primaria; originada por sedi-

mentación, y

- b) la compactación secundaria; debida, bien al propio asentamiento del volumen total del suelo, o bien al depósito de material fino en el espacio poroso.

Para algunos autores, los suelos de textura media son más susceptibles de compactarse que los arenosos o arcillosos, mientras que para otros, los suelos pesados se compactan más que los ligeros.

Dentro de la macroporosidad, la fracción de poros de  $50 \mu$  mm es la que más se afecta por la compactación, habiendo un incremento del volumen de poros de  $10 \mu$  mm, tanto en la capa arable como en el subsuelo.

Dentro de los factores que contrarrestan la compactación podemos mencionar el efecto de la flora y de la fauna. Así, las coníferas provocan un aumento de la porosidad total y de la macroporosidad, así como de la estabilidad estructural, utilizándose por ello en la lucha contra la erosión.

En cuanto a la fauna, debe destacarse la acción de las lombrices de tierra sobre la porosidad total y la macroporosidad y en algunos casos, sobre la microporosidad, JEANSON (1971).

## 7. LA POROSIDAD DEL SUELO EN RELACION CON SU FERTILIDAD

La fertilidad de los suelos agrícolas depende

de una serie de factores químicos y físicos, estos últimos muy poco estudiados.

Sin embargo, en las dos últimas décadas se ha experimentado un notable avance en este sentido, - según se muestran las revisiones hechas por HILLEL (1971), BAVER y Col. (1972), GAVANDE (1972), las cuales recogen las investigaciones y logros más importantes alcanzados en el tema, que hoy día se conoce como FERTILIDAD FISICA DEL SUELO.

Las propiedades físicas estrechamente relacionadas entre sí contribuyen a definir la productividad potencial del suelo. En este caso, la porosidad controla diversas propiedades decisivas en la producción vegetal como son, la capacidad de aireación y difusión gaseosa, el drenaje rápido, la capacidad de drenaje normal y lento, la capacidad de retención de agua útil y la capacidad de retención de agua no útil.

El conjunto de estos parámetros decide la economía en agua y en aire propia del suelo. Por eso la porosidad ideal es aquella que cuenta con un reparto equilibrado de las fracciones en el perfil.

Por otro lado, la macroporosidad tiene una especial influencia actuando en la fertilidad química del suelo.

Los métodos de conservación de una buena estructura son a través del aporte de materia orgánica, así como el encalado, el drenaje, la rotación de cultivos, las labores, etc.

Quizá sean estas últimas, cuando se ejecutan adecuadamente, el método más eficaz de devolver al suelo su condición óptima de porosidad. En este sentido, conviene indicar, que la mecanización agrícola constituye una de las fuentes que más contribuye a la degradación de la estructura, de ahí que en la actualidad exista un continuo interés en el desarrollo de nuevos modelos de maquinaria.



#### IV. METODOLOGIA

##### 1. SUELOS CONSIDERADOS

Dado el interés que supone el Valle de La Fragua, y considerando que este estudio puede servir de base a la mejora del potencial agronómico, se consideró de mayor alcance aplicar el esquema de trabajo expuesto a un grupo de suelos de indudable representabilidad en el área mencionada, tanto por sus características edafológicas como por su potencial de productividad.

Sabiendo por otra parte, que el objetivo primordial del presente trabajo implica la determinación de la porosidad, se pretendió en síntesis, que la elección del conjunto de series de suelos atendiera a los siguientes aspectos:

- a) a un amplio rango de textura,
- b) a su condición de suelos irrigables o con posibilidad de riego en el futuro,
- c) a una profundidad efectiva promedio de 50 cms.

##### 2. ELECCION Y LOCALIZACION DE PERFILES

En razón de las condiciones anteriores y de los antecedentes disponibles, SIMONS (1962), se eligieron siete (7) perfiles que corresponden a sitios de las series de suelos: Chirrum, Corti, Chicaj, Tempisque, Chiquimula, Teculután y Sinaneque, para llevar a cabo el presente trabajo.

CUADRO # 3

Identificación, Localización y  
Características Texturales de los Perfiles

Sitio y Perfil	Serie	Localización	Textura Dominante
1 (Z79-3)	CHIRRUM	San Jorge (Zacapa)	Franco
2 (Z79-14)	CORTI	San Jorge (Zacapa)	Franco Arenoso
3 (Z79-15)	CHICAJ	Estanzuela (Zacapa)	Arcilla
4 (Z79-18)	TEMPISQUE	San José Teculután (Zacapa)	Franco Arenoso Fino
5 (Z79-21)	CHIQUIMULA	Estanzuela (Zacapa)	Franco Arenoso
6 (Z79-31)	TECULUTAN	Reforma (Zacapa)	Franco Arenoso Fino
7 (Z79-32)	SINANEQUE	Llano de Piedra (Zacapa)	Franco Arenoso

### 3. DESCRIPCION DE PERFILES

Las lecturas de los perfiles fueron obtenidas en el estudio de "Caracterización de los Principales Suelos de los Llanos de La Fragua" (WYLD y LARA 1979) del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) y acá se presentan las descripciones de cada perfil después de haberse realizado lecturas de campo, para despejar algunas dudas.

Descripción del Sitio No. 1, Perfil Z79-3, Serie Chirrum, Franco.

#### HORIZONTE

Ap De 0 a 15 cms. Franco, entre café y café oscuro (7.5 YR 4/4) en seco, y café oscuro (7.5 YR 3/4) en húmedo; consistencia muy firme; adherente y muy plástica; escasas raíces muy finas; límite brusco y plano. Esta capa ha sido fuertemente compactada, probablemente por laboreo mecanizado en estado demasiado húmedo.

B<sub>2</sub> De 15 a 62 cms. Franco arcilloso; café - (7.5 YR 5/4) en seco y café oscuro (7.5 YR 3/4) en húmedo; macroestructura de bloques angulares, muy gruesos, medianamente definidos y microestructura de bloques angulares finos, los bloques están cubiertos por cutanes muy delgados (óxidos de manganeso) y discontinuos de color café oscuro (10 YR 3/3) en seco y café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; consistencia extre-

madamente firme; muy adherente y muy plástica; numerosos poros tubulares muy finos y caóticos dentro de los agregados; muy pocas raíces muy finas. Límite neto y plano.

B<sub>3</sub> De 62 a 90 cms. Franco arenoso; café amarillento (10 YR 5/6) en seco y café amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; estructura masiva; consistencia friable, muy ligeramente adherente y no plástica, sin raíces. No se detectaron carbonatos.

( 22-3-79 )

Descripción del Sitio No. 2, Perfil Z79-14, Serie Corti, Franco arenoso.

HORIZONTE

Ap De 0 a 22 cms. Franco arenoso con algunos fragmentos de grava pequeña; entre café y café oscuro (10 YR 4/3) en seco y café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; estructura granular fina, medianamente definida; consistencia no adherente y no plástica; abundantes raíces. Límite neto y plano.

A<sub>1</sub> De 22 a 64 cms. Franco arenoso, con abundantes fragmentos residuales de granito in temperizado; café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en seco y café muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo; estructura granular de mediana a débilmente definida; consistencia ligeramente adherente y ligeramente

plástica; pocas raíces; límite gradual y ondulado.

- C De 64 a 95 cms. Arena franca; café amarillento oscuro (10 YR 4/6) en húmedo y amarillo cafésáceo (10 YR 6/6) en seco y sin estructura (grano suelto); consistencia no adherente y no plástica; no se observan raíces.

En el horizonte A<sub>1</sub>, los fragmentos de granito encontrados resaltan en las paredes de la calicata como manchas blancas, las cuales, posiblemente por barrenamiento no se observarían.

( 23-5-79 )

Descripción del Sitio No. 3, Perfil Z79-15, Serie Chicaj, Arcilla.

HORIZONTE

- Ap De 0 a 20 cms. Arcilla, gris oscuro (10 YR 4/1) en seco y gris muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; se ven algunas concreciones de carbonatos con diámetros menores de 2 mm.; estructura en bloques subangulares de tamaño mediano, medianamente definida; consistencia adherente y plástica; raíces finas muy comunes; límite brusco y plano.
- B<sub>2</sub>Ca De 20 a 67 cms. Arcilla; gris muy oscuro (10 YR 3/1) en seco y negro (10 YR 2/1)

en húmedo; mayor número de concreciones y carbonatos que en el horizonte anterior y con diámetro hasta de 3 mm.; estructura en bloques subangulares grandes, fuertemente definidos; consistencia muy adherente y muy plástica; pocas raíces observadas; límite neto e irregular.

C De 67 a 90 cms. Franco, café amarillento claro (10 YR 6/4) en seco y café amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; algunas manchas de color negro de 3 mm. de diámetro que reaccionan con  $H_2O_2$ , infiriéndose que son dióxidos de manganeso; estructura masiva; consistencia ligeramente adherente y ligeramente plástica, sin raíces.

( 23-5-79 )

Descripción del Sitio No. 4, Perfil Z79-18, Serie Tempisque, Franco Arenoso Fino.

HORIZONTE

Ap De 0 a 18 cms. Franco arenoso fino; entre café y café oscuro (10 YR 4/3) en seco, y café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; estructura granular muy fina, fuertemente definida; consistencia ligeramente dura, ligeramente adherente y ligeramente plástica; muy escasas concreciones de carbonatos de 1 mm. de diámetro y uno que otro fragmento de cuarcita hasta de 2 mm. de diámetro. Abundantes raíces muy finas. Límite brusco y plano.

B<sub>2</sub> De 18 a 33/42 cms. Arcilla; café grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en seco y café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; estructura de bloques angulares medios, fuertemente definidos; consistencia muy dura, muy adherente y muy plástica. No se observan cutanes ni se detectan carbonatos. Pocas raíces muy finas; límite neto y ondulado.

B<sub>3Ca</sub> De 33/42 a 90 cms. Franco; café amarillento claro (10 YR 6/4) en seco y café amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; estructura masiva; consistencia dura, ligeramente adherente y plástica. Frecuentes fragmentos de pómez rodados no intemperizados hasta de 2 cms. de diámetro. Muy abundantes concreciones blancas y suaves de carbonatos hasta de 4 mm. de diámetro, sin raíces.

( 7-6-79 )

Descripción del Sitio No. 5, Perfil Z79-21, Serie Chiquimula, Franco Arenoso.

HORIZONTE

Ap De 0 a 19 cms. Franco arenoso; café fuerte (7.5 YR 5/6) en seco y café rojizo oscuro ( 5 YR 3/4) en húmedo; estructura granular fina, medianamente definida; consistencia extremadamente dura, adherente y plástica; escasas concreciones negras de dióxido de manganeso de unos 2 mm. de diámetro y muy pocas concreciones de carbona-

tos de unos 3 mm. de diámetro. Uno que otro fragmento de cuarcita y de gneiss rodado. Numerosos poros cilíndricos muy finos verticales dentro de los agregados. No se observan cutanes; raíces muy finas comunes con fuerte tendencia a concretarse entre los agregados; límite difuso y plano.

B<sub>2</sub>

De 19 a 50 cms. Franco arcilloso; café fuerte (7.5 YR 5/6) en seco y café rojizo (5 YR 4/3) en húmedo; estructura prismática gruesa, fuertemente definida, consistencia extremadamente dura, adherente y plástica; escasas concreciones negras de dióxido de manganeso de unos 2 mm. de diámetro y muy pocas concreciones de carbonatos de unos 3 mm. de diámetro; uno que otro fragmento de cuarcita y de gneiss rodado. Numerosos poros cilíndricos muy finos verticales dentro de los agregados. No se observan cutanes, raíces muy finas comunes con fuerte tendencia a concretarse entre los agregados. Límite difuso y plano.

B<sub>3Ca</sub>

De 50 a 109 cms. Franco arcilla arenoso; café fuerte (7.5 YR 5/6) en seco y café rojizo (5 YR 4/3) en húmedo; estructura masiva, con una que otra grieta vertical de unos 2 mm. de ancho hasta más o menos 90 cms. de la superficie; consistencia extremadamente dura, adherente y plástica; numerosas concreciones blancas de carbonatos de 3 a 5 cms. de diámetro, algunos fragmentos de cuarcita y cantos rodados de gneiss.



Descripción del Sitio No. 6, Perfil Z79-21, Serie Teculután, Franco Arenoso Fino.

HORIZONTE

- Ap De 0 a 20 cms. Franco arenoso fino; rojo amarillento (5 YR 4/6) en seco y café rojizo oscuro (5 YR 3/3) en húmedo; estructura granular fina, débilmente definida; consistencia muy friable, ligeramente adherente y ligeramente plástica; muy abundantes raíces muy finas; límite brusco y plano.
- B<sub>2</sub> De 20 a 53 cms. Franco arenoso fino; rojo amarillento (5 YR 4/6) en seco y café rojizo oscuro (5 YR 3/4) en húmedo; estructura masiva (húmedo), ligeramente adherente y plástica; abundantes raíces muy finas; límite gradual y plano.
- B<sub>31</sub> De 53 a 75 cms. Franco arenoso; rojo amarillento, tanto en seco como en húmedo, (5 YR 5/8 y 5 YR 5/6); estructura masiva (húmedo); consistencia muy friable, ligeramente adherente y plástica; pocas raíces muy finas; límite gradual y ondulado.
- B<sub>32</sub> De 75 a 95 cms. Franco arenoso; amarillo rojizo (7.5 YR 6/8) en seco y café fuerte (7.5 YR 4/6) en húmedo; estructura de grano suelto; consistencia muy friable; ligeramente adherente y no plástica. Sin raíces. En todo el perfil hay algunos cristales de cuarzo y en el horizonte b<sub>32</sub> se encontró uno que otro canto rodado de gneiss

de unos 3 cms. de diámetro.

( 12-9-79 )

Descripción del Sitio No. 7, Perfil Z79-32, Serie Sinaneque, Franco Arenoso.

HORIZONTE

- Ap De 0 a 14 cms. Franco arenoso; café - (10 YR 5/3) en seco y café oscuro (10 YR - 3/3) en húmedo; estructura granular fina, débilmente definida; consistencia suelta, no adherente y no plástica; abundantes raíces muy finas; límite brusco y plano.
- B<sub>2</sub> De 14 a 47 cms. Franco arcillo-arenoso; café grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en seco y café muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo; estructura masiva en húmedo que tiende a granular fina, débilmente definida al secarse; consistencia friable, ligeramente adherente y plástica; escasas raíces muy finas; - límite neto y plano.
- B<sub>3</sub> De 47 a 96 cms. Franco arenoso grueso; café amarillento (10 YR 5/4) en seco y café amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; con numerosos cristales de cuarzo y algunos cantos rodados de hasta unos 2 cms. de diámetro; estructura de grano suelto; consistencia friable, ligeramente adherente y ligeramente plástica; muy pocas raíces muy finas.

( 13-9-79 )

#### 4. CRITERIOS DE MUESTREO

Obtenida la descripción de cada perfil se procedió a la toma de muestras de suelo con estructura inalterada, utilizando para el efecto, cilindros de acero inoxidable (martillo de densidades).

Los cilindros se trasladaron al laboratorio para su posterior manipulación, siendo almacenados en bolsas plásticas dentro de cajas de cartón al medio ambiente.

El criterio general de muestreo de los perfiles puede observarse en el esquema de la Tabla No. 1. Aunque se cuenta con la descripción total de cada uno de los perfiles, se tomó el muestreo únicamente de los horizontes genéticos comprendidos en los 50 cms. de profundidad, considerada ésta como la profundidad efectiva promedio del Valle.

La época de muestreo fue entre el miércoles 19 al viernes 27 de diciembre de 1979, o sea a inicios de la estación seca de la región. Cabe resaltar que la humedad del suelo era óptima para el uso del martillo de densidades.

#### 5. ALGUNAS CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS MUESTREADOS. SIMMONS (1962)

##### 5.1. Chirrum

Suelo de origen de cenizas volcánicas y aluvión local, moderadamente drenados, con un nivel medio de fertilidad, con poca penetrabilidad de las raíces. Su mejor uso es el de pas-

toreo. En el momento del muestreo se encontraba preparado para la siembra de un cultivo limpio.

#### 5.2. Corti

Suelos aluviales, con buen drenaje y fácilmente cultivables, con ciertas dificultades para irrigar por su textura arenosa. El manejo debe incluir el uso de abonos verdes y fosfatos para mejorar los rendimientos. En el momento del muestreo se encontraba en descanso, con una cobertura de vegetación natural.

#### 5.3. Chicaj

Son suelos de origen volcánico poco profundos, mal drenados, de color gris oscuro, con una capa cementada a unos 20 cms., la fertilidad natural es medianamente baja. El agua puede permanecer en la superficie por más de 48 horas sin mojar el suelo en una profundidad de 15 cms. Se agrieta abundantemente al secarse. Son casi planos. Se encontraba en descanso en el momento del muestreo.

#### 5.4. Tempisque

Son suelos de origen volcánico pomáceo, casi planos, moderadamente drenados, se tornan duros cuando se secan y pegajosos al humedecerse. Fertilidad natural regular, con deficiencia de fósforo. Fáciles de cultivar y adecuado para la irrigación. Recién se acababa de cosechar tabaco cuando se muestreó.

#### 5.5. Chiquimula

Son de origen volcánico y de aluvi6n local, casi planos, bien drenados. F6cilmente irrigables, mejorar el manejo con aplicaci6n de materia org6nica y fertilizantes fosfatados. Se encontraba con el cultivo de tabaco al muestrearse.

#### 5.6. Teculut6n

Son de origen aluvial y en menor grado de cenizas volc6nicas, casi planos, con fertilidad natural relativamente baja, son cultivables e irrigables, de f6cil manejo. Se encontraba preparado para la siembra de sandía bajo riego en surcos por bombeo.

#### 5.7. Sinaneque

De origen aluvial, est6n bien o moderadamente bien drenados, son cultivables, fertilidad natural mediana, con baja retenci6n de humedad. Con f6cil penetraci6n de raíces y agua, no erosionable con adecuado manejo. El suelo se encontraba en descanso en el momento del muestreo.

### 6. CLIMATOLOGIA DEL AREA

Datos de la estaci6n 22.3.2 La Fragua PHC. localizada geogr6ficamente a 14 grados 57' 5" Lat. Norte y 89 grados 35' 04" de Long.Oeste, a una elevaci6n de 210 mts. sobre el nivel del mar, en el Municipio de Estanzuela, Zacapa.

TABLA No. 1

ESQUEMA GENERAL DE MUESTREO

SUELO SERIE	HORIZONTE	PROF. GRAL (Cms. )	PROF. REAL DE MUESTREO (Cms.)
Chirrum	Ap	0-15	2.5-12.5
Chirrum	B <sub>2</sub>	15-62	33-43
Corti	Ap	0-22	6-16
Corti	A <sub>1</sub>	22-64	38-48
Chicaj	Ap	0-20	5-15
Chicaj	B <sub>2</sub> Ca	20-67	36-46
Tempisque	Ap	0-18	4-14
Tempisque	B <sub>2</sub>	18-33/42	25-35
Tempisque	B <sub>3</sub> Ca	33/42-90	61-71
Chiquimula	Ap	0-19	4-14
Chiquimula	B <sub>2</sub>	19-50	29-39
Teculután	Ap	0-20	5-15
Teculután	B <sub>2</sub>	20-53	31-41
Sinaneque	Ap	0-14	2-12
Sinaneque	B <sub>2</sub>	14-47	25-35

Precipitación Media Anual	490 mm.
Temperatura Media Anual	27.1° C
Humedad Relativa Media Anual	64%
Velocidad del Viento Media Anual	8.6 Km/H.
Dirección del Viento Preponderante Anual	N.E.
Presión Atmosférica Media Anual	744.5 mm. Hg.
Evaporación Media Anual a la Sombra en mm.	3.8
Evaporación Media Anual a la Intemperie en mm.	2891.4

Esta región es esencialmente un punto seco donde los vientos cargados de humedad que soplan del Caribe son interceptados por la Sierra de las Minas y por las montañas vecinas.

Es la región más seca del país, con lluvias en algunas partes, que no rebasan los 500 mm. anuales. En su clima cálido seco predominan las altas temperaturas, lo que incide en la fuerte evapotranspiración que experimentan los cultivos, haciéndose más notoria esta situación en los meses sin lluvias, que en general son febrero, marzo y abril.

Sus aguas superficiales son adecuadas para riego, por lo que en la actualidad cuenta con el sistema de riego por gravedad más grande del país.

Hoy día esta región se ha dedicado especialmente a la explotación de los siguientes cultivos: tomate, melón, sandía, maíz, tabaco, y pastos especialmente; aunque también se cultiva: chile, berengena, pepino, okra, etc.

## 7. DETERMINACIONES ANALITICAS

### 7.1. Densidad Aparente (Dap)

Para la determinación de la densidad aparente, se emplearon muestras tamizadas a 2 mm., siguiendo la metodología convencional de la probeta usada por el Laboratorio de Suelos de Recursos Naturales (DIRENARE). Inicialmente se intentó calcularla a través de cilindros de volumen conocido; sin embargo, el manejo que se les dio a éstos alteró la estructura natural del suelo por lo que se optó por usar el método de la probeta, el cual se utiliza corrientemente en nuestro medio por sencillo y práctico.

### 7.2. Densidad Real (Dr)

Esta determinación se llevó a cabo por el método de la probeta utilizado por el Laboratorio de Suelos de Recursos Naturales. Además, con el fin de obtener resultados más confiables y correlacionar los datos, se determinó la Dr. de los horizontes superficiales de todos los sitios escogidos, por medio del método del picnómetro; concluyéndose que los resultados obtenidos por el método de la probeta son confiables para el desarrollo posterior de otros cálculos que dependen de la densidad real.

### 7.3. Humedad Equivalente

Se determinó por el aparato de membrana de



RICHARDS, que emplea membrana de celofán y cilindros de goma de 13 mm. de altura y 24 mm. de diámetro interno.

Se usaron muestras tamizadas a 2 mm. sometidas a 1/3 de bar. (atmósfera). Se siguió la metodología de Recursos Naturales, que es la convencional.

#### 7.4. Punto de Marchitez Permanente

También se determinó con el aparato de membrana de RICHARDS, utilizándose muestras tamizadas a 2 mm. sometidas a 15 bars (atmósferas), según la metodología de Recursos Naturales.

#### 7.5. Contractibilidad por Desplazamiento de Mercurio

La metodología usada fue:

- a) Dispersión del suelo con una espátula hasta el punto de adherencia (pasta saturada).
- b) Se untó con vaselina las cápsulas de aluminio para evitar que se pegara el suelo al secarse.
- c) Se pesaron las cápsulas de aluminio.
- d) Se llenaron las cápsulas al ras con la muestra dispersa húmeda.
- e) Se pesaron las cápsulas con la muestra dispersa húmeda.
- f) Se sometieron a secamiento en horno de convección a 105 grados centígrados por 12 horas.

- g) Se dejaron enfriar y se pesó de nuevo la cápsula con la muestra dispersa ya seca.
- h) Se separó la pastilla de suelo seco de la cápsula y se colocó el mercurio en la cápsula.
- i) Se colocó de nuevo la pastilla de suelo seco en la cápsula con mercurio, cuidadosamente y se recogió el mercurio desplazado en una bandeja.
- j) En una probeta de 25 ml. de volumen se midió el mercurio desplazado.
- k) Por diferencia se obtiene la contracción - que ha sufrido el suelo.

VI-VD = Contracción o volumen que ocupa el mercurio no desplazado de la cápsula

VI = Volumen inicial de mercurio

VD = Volumen desplazado de mercurio

#### 7.6. Análisis Mecánico

Este fue realizado por el laboratorio de suelos del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) siguiendo la metodología del hidrómetro (Bouyoucus).

El detalle de los cálculos que se realizaron en cada etapa del presente trabajo se encuentra en el Cuadro No. 4, columna observaciones. Todos los datos referidos a volumen del suelo en estado natural se pasaron al diagrama modelo, como se indica en la Figura No.1.

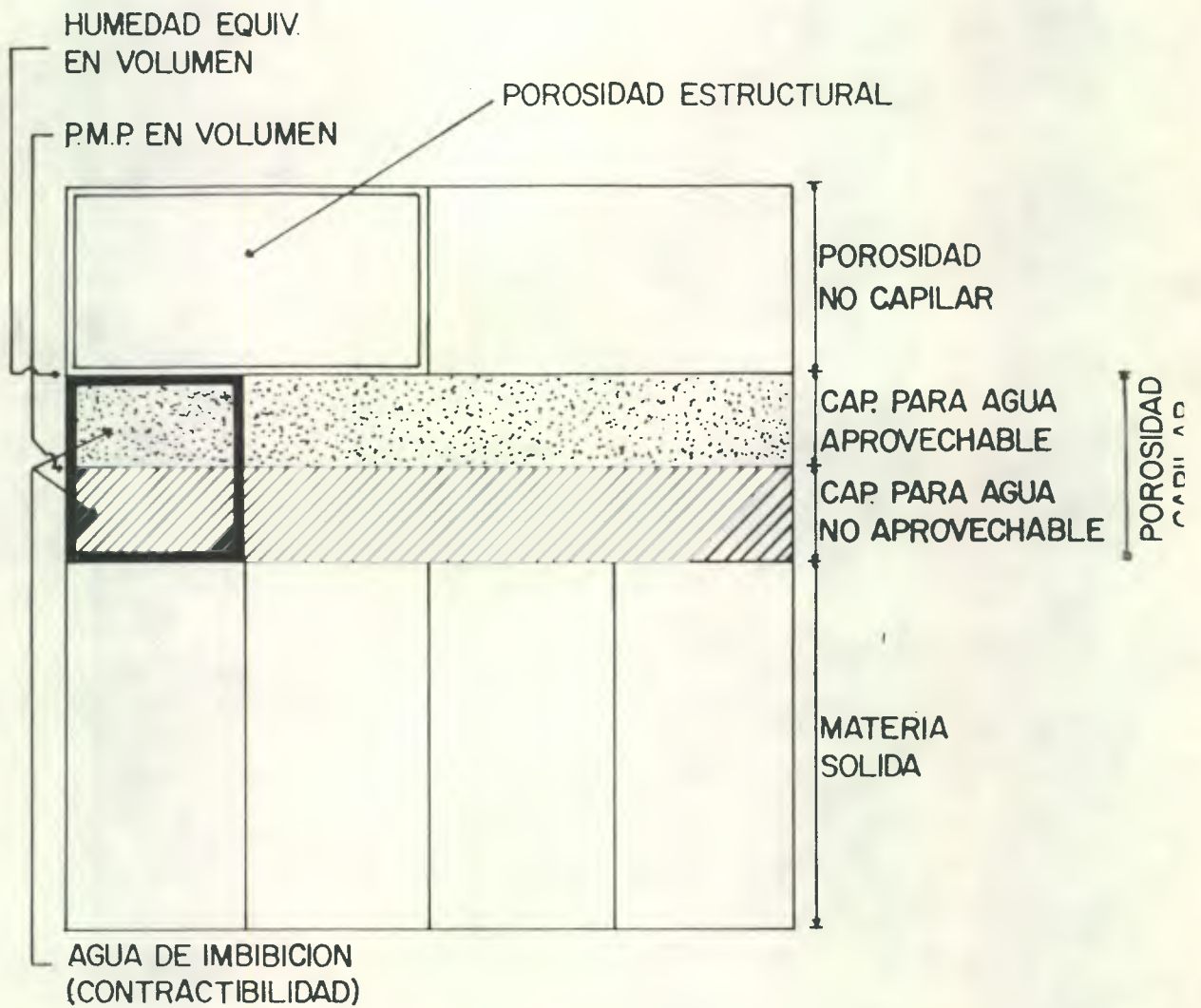


Fig. 1 - Explicación del diagrama de porosidad (el cuadrado representa un 100% de suelo en volumen).

## V. RESULTADOS

El análisis de partículas (análisis mecánico) y el porcentaje de materia orgánica del horizonte superficial de los suelos muestreados se encuentra en el Cuadro No. 5. Además, en el Cuadro No. 4 y en los diagramas de porosidad que se agrupan en la Figura No. 2 se encuentran las características de porosidad de dichos suelos.

## VI. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

A continuación se comentan algunas características de los suelos considerados en el estudio.

### 1. Sitio No. 1, Perfil Z79-3, Serie Chirrum

Los dos horizontes presentan una buena porosidad no capilar, la cual es enteramente estructural y está dada posiblemente por el intenso laboreo que recibe el suelo. Esta condición hace que el suelo sea permeable y su alta porosidad de imbibición garantiza una buena aireación y penetración de las raíces cuando el suelo no está saturado. Por el contrario, en condiciones de saturación se vuelve adherente y plástico, dada su consistencia muy firme y su estructura masiva que restringe la aireación y penetración de las raíces.

La capacidad de almacenamiento de agua aprovechable es medianamente baja y aumenta con la profundidad.

SUELO	CHIRRUN	CORTI	CHICAJ	TEMPISQUE	CHIQUMILA	TECULTAN	SINANEQUE	OBSERVACIONES
Densidad Aparente gr/cc	1.31 1.25	1.52 1.43	1.20 1.14	1.20 1.16 1.22	1.46 1.42	1.44 1.37	1.45 1.37	
Densidad Real gr/cc	2.26 2.28	2.39 2.40	2.26 2.28	2.22 2.16 2.15	2.40 2.42	2.39 2.40	2.28 2.30	
Porosidad Total, %	42.04 45.18	36.40 40.42	46.90 50.00	45.95 46.30 43.26	39.17 41.32	39.75 42.92	36.40 40.43	1- $\frac{\text{Den. Ap.}}{\text{Den. Real}}$ 100
Humedad Equivalente en peso, %	13.45 19.51	10.85 10.87	20.68 21.88	12.20 14.94 16.10	11.05 15.84	10.37 12.20	11.95 14.38	
Porosidad capilar en volumen, %	17.62 24.39	16.49 15.54	24.82 24.94	14.64 17.33 19.64	16.13 22.49	14.93 16.71	17.33 19.70	Humedad Equivalente en peso X Densidad Aparente
Porosidad no capilar en volumen, %	24.42 20.79	19.91 24.88	22.08 25.06	31.31 28.97 23.62	23.04 18.83	24.82 26.21	19.07 20.73	Porosidad Total - Porosidad Capilar
P.M.P. en peso, %	10.73 13.22	6.49 7.05	17.26 18.41	8.03 9.30 11.11	6.13 9.64	6.67 8.04	6.58 9.56	
Capacidad para agua no aprove- chable en volu- men, %	14.06 16.53	9.86 10.08	20.71 20.99	9.64 10.79 13.55	8.95 13.69	9.60 11.01	9.54 13.10	P.M.P. en peso X Densidad Aparente
Capacidad para agua aprovecha- ble volumen, %	3.56 7.86	6.63 5.46	4.11 3.95	5.00 6.54 6.09	7.18 8.80	5.33 5.70	7.79 6.60	Porosidad Capilar - Capacidad para a- gua no aprovecha- ble
Contractibilidad en estado disper- so, %	30.67 31.50	11.35 21.54	37.28 43.37	5.09 8.42 9.41	8.54 14.52	12.72 16.35	13.95 18.71	Se mide directamen- te el volumen desoc- upado en la caja - al contraerse el suelo disperso, %
Densidad aparente en estado disper- so, gr/cc	1.71 1.63	1.70 1.79	1.66 1.72	1.35 1.36 1.42	1.70 1.64	1.76 1.68	1.67 1.69	Peso seco contenido en la caja de con- tractibilidad / vo- lumen del suelo se- co
Porosidad en esta- do disperso, %	24.34 28.51	28.87 30.83	26.55 24.56	39.19 37.04 33.95	29.17 32.23	26.36 30.00	26.75 26.52	100- $\frac{\text{Den. Ap. en Est. Disperso}}{\text{Densidad Real}}$ X100
Porosidad no es- tructural, %	18.65 21.86	25.81 24.63	19.19 16.28	35.42 31.59 29.22	25.05 27.91	21.57 24.46	23.23 21.50	Porosidad estado disperso X $\frac{\text{Den. Ap. en estado dis-perso}}{\text{Den. Ap. en estado dis-perso}}$
Porosidad estruc- tural, %	23.39 23.32	10.59 15.79	27.71 33.72	10.53 14.71 14.04	14.12 13.41	18.18 18.46	13.17 18.93	Porosidad Total - Porosidad no estruc- tural
Espacio ocupado - por agua de imbi- ción, %	23.50 24.16	10.15 17.71	26.95 28.75	4.52 7.18 8.08	7.33 12.57	10.41 13.33	12.11 15.17	Contractibilidad en estado disperso X Densidad Aparente Den. Ap. Est. disperso
Porosidad Textural %		15.66 7.42		30.90 24.41 21.14	17.72 15.34	11.16 11.13	11.12 6.33	Porosidad no estruc- tural - Espacio ocupado por agua de imbibición

CUADRO No. 4

CARACTERISTICAS DE POROSIDAD DE LOS SUELOS

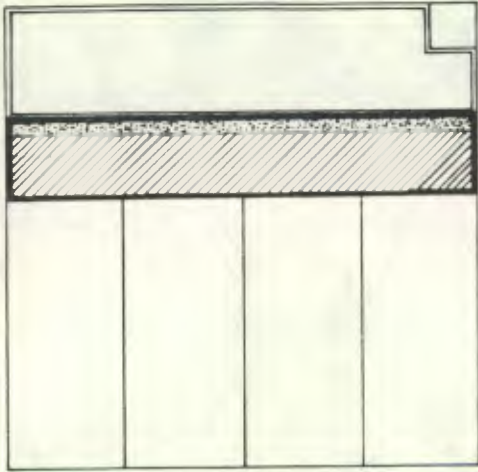
CUADRO # 5

ANALISIS MECANICO Y PORCENTAJE DE MATERIA ORGANICA DEL HORIZONTE SUPERFICIAL (Ap)  
DE LOS SUELOS ENSAYADOS

SITIO	SERIE	% MO	ARCILLA	LIMO	ARENA	CLASE TEXTURAL
Z79-3	Chirrum	1.15	21.13	29.13	49.74	Franco
Z79-14	Corti	1.58	11.02	15.83	73.15	Franco arenoso
Z79-15	Chicaj	1.59	43.57	20.19	36.24	Arcilla
Z79-18	Tempisque	1.24	18.88	23.19	57.93	Franco arenoso
Z79-21	Chiquimula	0.77	15.48	22.40	62.12	Franco arenoso
Z79-31	Teculután	1.22	18.12	19.56	62.32	Franco arenoso
Z79-32	Sinaneque	1.44	8.06	18.34	73.60	Franco arenoso

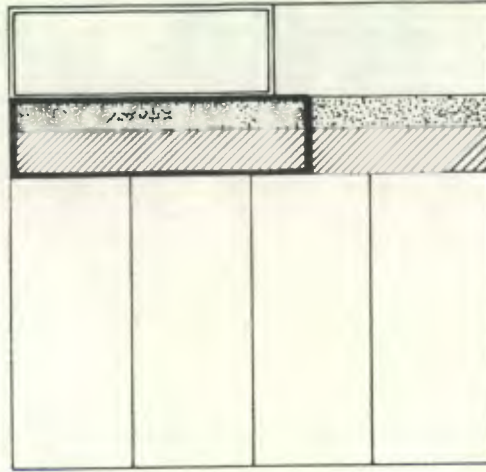
SERIE CHIRRUN

HORIZONTE Ap



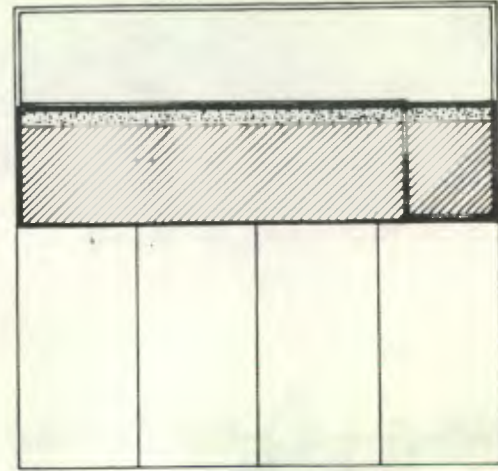
SERIE CORTI

HORIZONTE Ap

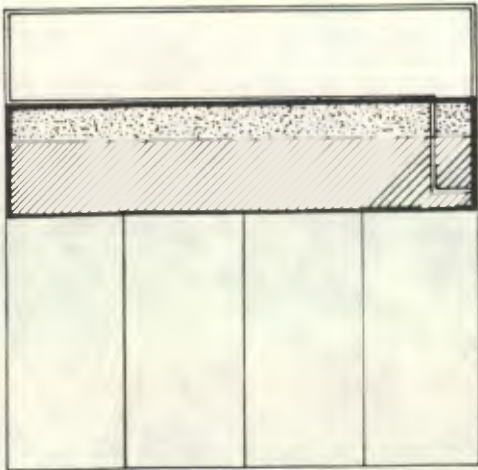


SERIE CHICAJ

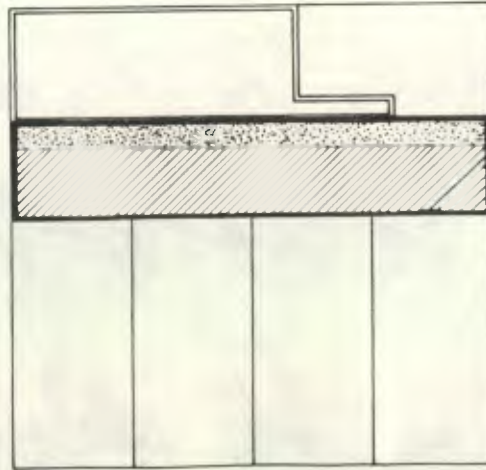
HORIZONTE Ap



HORIZONTE B<sub>2</sub>



HORIZONTE A<sub>1</sub>



HORIZONTE B<sub>2</sub>Ca

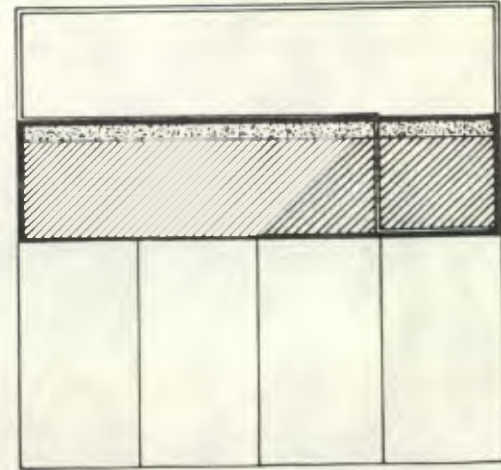
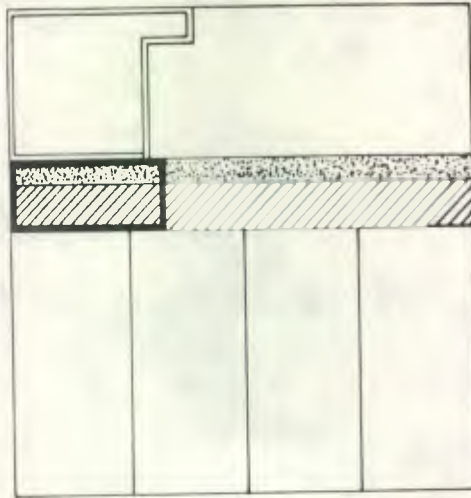


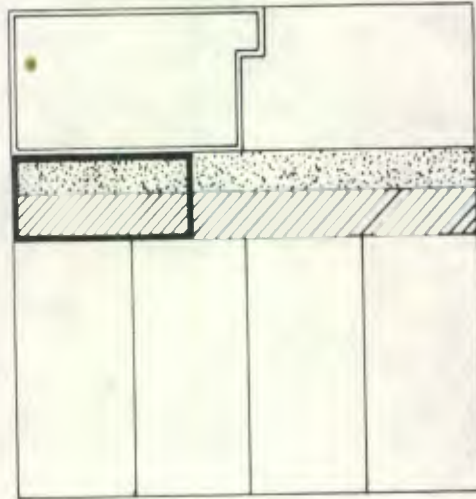
FIGURA # 2

SERIE TEMPISQUE

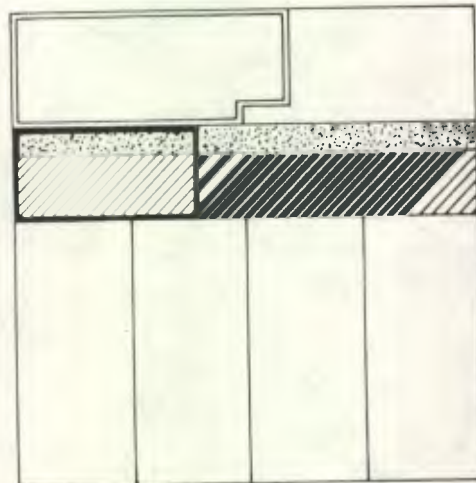
HORIZONTE Ap



HORIZONTE B<sub>2</sub>



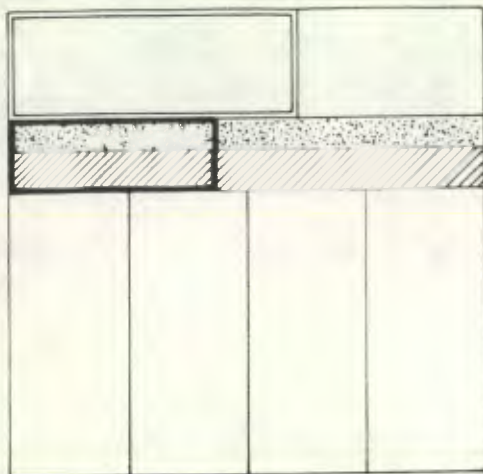
HORIZONTE B<sub>3</sub>Ca





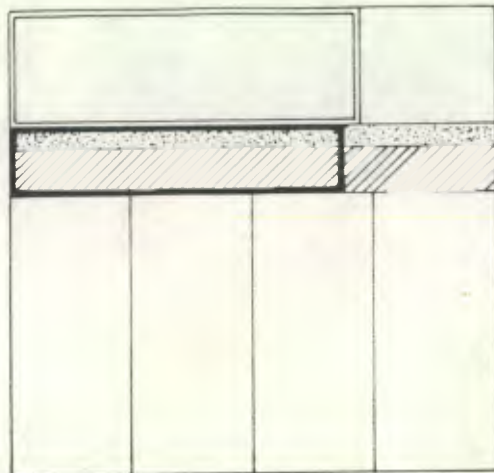
SERIE CHIQUIMULA

HORIZONTE Ap



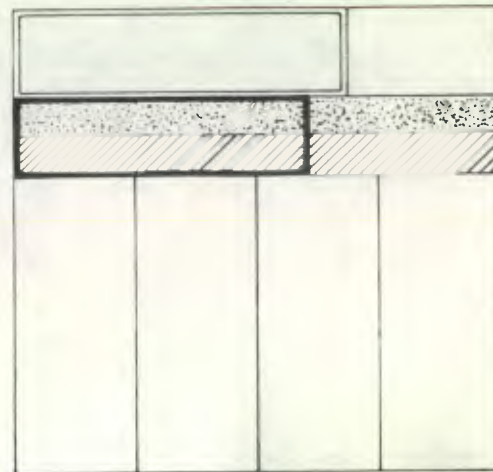
SERIE TECULUTAN

HORIZONTE Ap

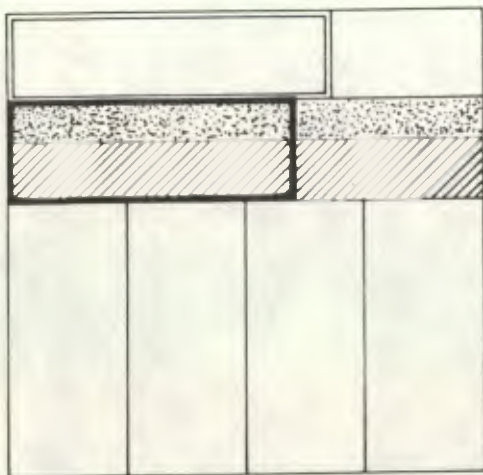


SERIE SINANEQUE

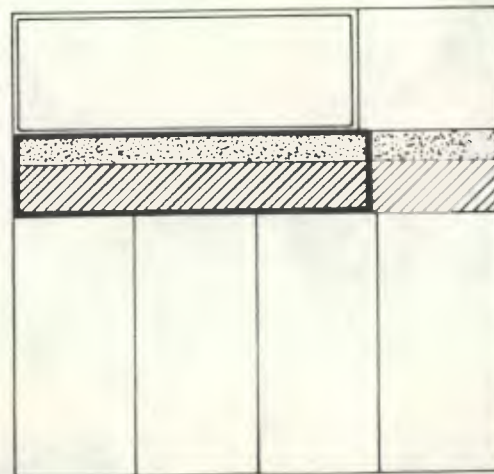
HORIZONTE Ap



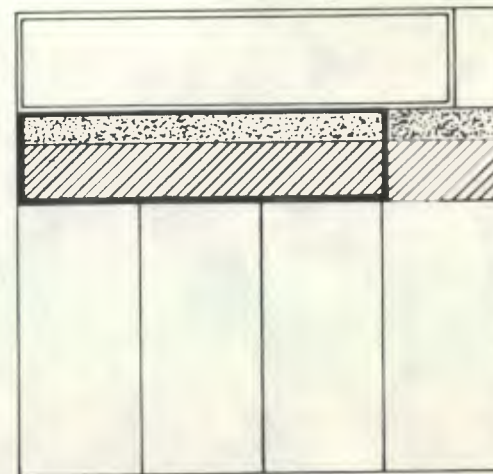
HORIZONTE B<sub>2</sub>



HORIZONTE B<sub>2</sub>



HORIZONTE B<sub>2</sub>



...FIGURA # 2

Este suelo aunque franco; presenta una contractibilidad alta; detectándose una capa fuertemente compacta entre los dos horizontes.

2. Sitio No. 2, Perfil Z79-14, Serie Corti

Los dos horizontes presentan una buena porosidad no capilar, observándose conforme aumenta la profundidad, que la porosidad estructural predomina y que está dada por la estructura granular fina a media, débilmente definida. Una buena parte de la porosidad no capilar en el horizonte Ap es textural, y por lo tanto permanente. La porosidad capilar se hace menor con la profundidad, aumentando la porosidad de agua de imbibición, lo que conlleva una menor disponibilidad de agua aprovechable.

Se nota en el diagrama que este suelo se hace impermeable a mayor profundidad y se agrieta al secarse.

La mayor parte de la porosidad no capilar es estructural, pero posiblemente bastante estable como lo indica el hecho de que esta porosidad es más alta aún en el horizonte A<sub>1</sub>.

3. Sitio No. 3, Perfil Z79-15, Serie Chicaj

Este suelo presenta una alta porosidad total, bien distribuida entre porosidad capilar y no capilar. La porosidad no capilar es exclusivamente estructural y aún parte de la capilar, también lo es, dando idea de que no es estable y que puede deberse a que su estructura es en bloques sub-angula

res, siendo además un suelo que se seca lentamente. Su textura arcillosa lo hace impermeable, muy adherente y plástico cuando está húmedo. Es un suelo que tiene una gran capacidad de imbibirse de agua y no tiene buena disponibilidad de agua aprovechable. Su contractibilidad es muy alta, lo que dificulta el laboreo cuando está seco o húmedo.

Su capacidad de imbibición es talvez exagerada - pudiendo esperarse daños a las raíces cuando el suelo se seca. Otro defecto de este suelo es su baja capacidad de almacenamiento de agua aprovechable. (Este suelo presenta concreciones de carbonatos de hasta 3 mm. en el horizonte B<sub>2</sub>Ca)

4. Sitio No. 4, Perfil Z79-18, Serie Tempisque

El diagrama de porosidad de este suelo expresa muy bien las buenas cualidades físicas que posee. En efecto, este suelo reúne las cualidades de una alta porosidad no capilar, con una muy buena capacidad para retener agua aprovechable. Hasta el horizonte B<sub>2</sub>, la porosidad no capilar es en gran parte textural y por lo tanto permanente, ésta descende, lo que indica probable dificultad en la penetración de las raíces y del agua.

Su capacidad de imbibirse en agua se puede considerar satisfactoria para asegurar la aireación y la penetrabilidad de las raíces.

5. Sitio No. 5, Perfil Z79-21, Serie Chiquimula

La porosidad capilar de este suelo aumenta con la profundidad, incrementándose a la vez, su capa-

cidad de almacenar agua aprovechable. La porosidad no capilar es en su mayor parte estructural, debido posiblemente al laboreo intensivo y a la estructura granular fina y prismática gruesa. Posee buena permeabilidad, su porosidad imbibitoria es notoria, lo que asegura una buena aireación y penetración de raíces cuando el suelo no está húmedo.

6. Sitio No. 6, Perfil Z79-31, Serie Teculután

Se distingue por su elevada porosidad no capilar, una parte de ésta es de tipo textural, por lo tanto es permanente, cualidad posiblemente relacionada con el alto contenido de arena de este suelo. Su capacidad para agua aprovechable es óptima. Su espacio imbibicional es notorio, lo que asegura la penetración de aire y de raíces cuando el suelo se seca. La textura franca arenosa y la estructura granular fina del horizonte Ap, favorecen la permeabilidad.

7. Sitio No. 7, Perfil Z79-32, Serie Sinaneque

Este suelo manifiesta buena porosidad total distribuida equitativamente en capilar y no capilar. La capacidad de agua aprovechable es satisfactoria, aunque disminuye con la profundidad; favoreciendo el drenaje ya que la porosidad no capilar es casi exclusivamente estructural, debido a su textura y estructura y posiblemente al laboreo continuo e intensivo. La capacidad de agua imbibicional es adecuada y no produce contractibilidad alta.

## VII. CONCLUSIONES

1. Con la metodología convencional de análisis de suelos con que se cuenta actualmente, se pueden realizar estudios de porosidad de suelos en otras regiones del país.
2. Se propone la metodología de desplazamiento de mercurio para la determinación analítica de la contractibilidad del suelo, poco conocida y adaptada al equipo y material con que cuenta el laboratorio de Recursos Naturales.
3. La metodología seguida en la determinación de la porosidad del suelo y la elaboración de diagramas de porosidad, no ha sido debidamente estudiada en Guatemala, por lo que la presente tesis debe considerarse como un trabajo de punto de partida en el estudio de la porosidad de suelos.
4. Al interpretar los diagramas, en general se denotó que en los horizontes superficiales de los suelos muestreados, la porosidad total fue mayor, predominando en ésta la porosidad estructural, la cual a veces fue excesiva incluso hasta en suelos arcillosos. Ej.: Horizonte Ap de los suelos de la serie Chicaj.
5. Igualmente, en las texturas francas la desecación produce una mayor porosidad total, un mayor drenaje, una disminución de la capacidad de campo, una disminución del punto de marchitez permanente y por consiguiente del agua útil. Ej.: suelos de la serie Tempisque, Chiquimula y Sinaneque.

### VIII. RECOMENDACIONES

1. Constituyendo la porosidad del suelo una característica física de suma importancia, se hace necesario la realización de mayor investigación en este campo, principalmente en los distritos de riego y en regiones potencialmente irrigables en el futuro.
  
2. Aunque se ha reportado un umbral mínimo de porosidad de aireación (macroporosidad) del 10%, se recomienda investigar los requerimientos mínimos de aireación en el suelo de acuerdo a las exigencias de los cultivos en determinados suelos.
  
3. Las conclusiones 4 y 5 deberán ser probadas en el campo para estudiar el comportamiento de las plantas en relación al suelo (relación suelo-planta), y correlacionadas con los diagramas de porosidad.

## IX. BIBLIOGRAFIA

1. ARRUE, J.L. Factores químicos, físico-químicos y físicos determinantes de los caracteres, propiedades y dinámica de la porosidad del suelo. Tesis Dr. en Cs.Q. Sevilla, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Cuarto de Sevilla, 1976. pp. 2-54.
2. BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. y GARDNER, W.R. Soil physics. New York, John Wiley, 1972. pp. 20-25.
3. BREWER, R. Fabrick and mineral analysis of soil. New York, John Wiley, 1964. pp. 40-53.
4. EDWARDS, A.P. y BREMNER, J.N. Microaggregates in soil. Journal Soil Sci. no.18: 64-73. 1967
5. GAVANDE, S.A. Física de suelos. México, Limusa-Wiley, 1972. pp. 37-45.
6. GROSSMAN, R.D. et al. Linear extensibility as calculated from natural-clod bulk density measurements. Journal Soil Sci. no. 32: 70-73. 1968.
7. HARDY, F. Edafología tropical. México, Herrero, 1970. pp. 10-30.
8. HENIN, S. y BOSQUET, J. Relationships, between the behaviour of soil and their texture. Séanc. Acad. Agric. no. 50: 842-846. 1964.
9. HILLEL, D. Soil and water; physical principles and processes. New York, Academic Press, 1971. pp. 60-64.
10. JEANSON, C. Etude experimentals del áction des vers de terre sur los sols artificiels. París, Gauthier-Willards, 1971. pp. 211-256.
11. JOHNSON, W.H. et al. Classification and description of soil pores. Journal Soil Sci. no. 89: 19-21. 1960.

12. KAURICHEV, I.S. y GANZHARA, N.F. Role of humus substance in processes occurring during soil stabilization with lime. *Timiryazev Sel' - Khoz* no. 51: 97-103. 1972.
13. ODEN, S. A proposal index for the classification of soil pores. *Lantbra Akad Tidskr* no. 96: 97-113. 1957.
14. ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA. Guías para la descripción de perfiles de suelos. Roma, 1966. pp. 29-33.
15. RODE, A.A. Theory of soil moisture. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translation, 1969. V. 1 pp. 6-15.
16. SCHEFFER, F. y SCHACHTSCHABEL, P. Lehrbuch der bodenkunde. Stuttgart, Enke Verlag, 1970. pp.186.
17. SCHUMACHER, W. Die physik des bodens. Berlín, Wiegandt U Hempel, 1864. V. 1 pp. 81-92.
18. SIMMONS, C.S. y TARANO, J.M. Reconocimiento de los suelos de los llanos de La Fragua, Zacapa. Guatemala, IAN, 1962. pp: 63-73. mimeo.
19. SOIL SURVEY STAFF. Soil survey manual. Washington, U.S.D.A., 1951. pp. 45-46.
20. WESSELING, J. y VAN WIJK, W.R. Soil physical conditions in relation to drain depth. Madison Wis, Amer. Soc. Agron., 1957. pp. 61-90.
21. WYLD, JAIME T. y LARA ALECIO, ROLANDO. Caracterización de los principales suelos de los llanos de La Fragua. Guatemala, ICTA, 1979. Trabajo inédito.



*Revisada  
Gale Ramirez*



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA

Ciudad Universitaria, Zona 12.

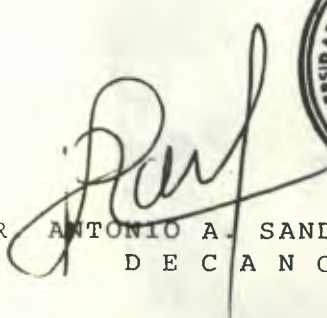
Apartado Postal No. 1545

GUATEMALA, CENTRO AMERICA

Referencia	.....
Asunto	.....

"IMPRIMASE"



  
DR. ANTONIO A. SANDOVAL S.  
D E C A N O