

Por:

Adel González M.*

Dario Castro G. **

Hermes Valderrama Z.**

La producción de una buena cosecha depende del balance de los elementos nutritivos en el suelo y de factores de naturaleza más mecánica como movimientos de aire y agua dentro de su masa, arreglo de sus partículas en agregados, etc., que hacen más eficiente el uso de los nutrientes por las plantas. Con frecuencia se observa que un programa de fertilización químicamente balanceado está limitado por alguna o algunas de las características físicas del suelo que en condiciones poco apropiadas impiden el normal desarrollo del sistema radicular y consecencialmente de las plantas. Por consiguiente el conocimiento de las propiedades físicas de un suelo permite el manejo eficiente del mismo para el logro de mejores producciones.

Las propiedades de la parte sólida del suelo (fracción mineral) no pueden evaluarse de manera precisa a menos que se consideren sus partículas desde un punto de vista individual (textura) y de agrupación (unidades estructurales). En la agregación de las partículas y en su comportamiento la fracción sólida orgánica juega también un papel de singular importancia. Asociado a las partículas y su agregación se estudian entre otros aspectos la densidad, estabilidad de los agregados al agua, coeficiente de dispersión de los suelos, aireación y difusión de oxígeno, cantidad y naturaleza mineralógica de las arcillas.

Textura.

La textura se define como las proporciones relativas de los diferentes separados del suelo y estos por su diámetro. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (DA-EE.UU) y la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS) han propuesto escalas de clasificación de los separados (Cuadro 1), pero la literatura de occidente reporta casi en su totalidad la propuesta del primero.

Basándose en la ley de Stokes (velocidad de caída de una partícula en medio líquido, generalmente el agua) se han determinado los tiempos de introducción del hidrómetro de Bouyoucos, para estimar la densidad de la suspensión, o del muestreo con una pipeta, para determinar la concentración de partículas por cc, con el fin de estimar las proporciones de los

* Profesor Titular - Universidad Nacional de Colombia - Palmira.

** Estudiantes de pre-grado U. Nacional de Colombia - Palmira.

separados y determinar el nombre con el triangulo textural de los suelos (arcilloso, franco arcilloso, franco arenoso, etc.).

Cuadro 1

Clasificación de los separados del suelo según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (D.A. - EE. UU) y la Sociedad Internacional de la Ciencia del suelo (S.I.C.S.) (diámetro en mm.)

	DA - EE UU	S I C S
Arenas	2 - 0.05	2 - 0.02
Limos	0.05 - 0.002	0.02 - 0.002
Arcillas	<0.002	<0.002

De acuerdo con Stokes, quien asume partículas rígidas, uniformes y esféricas aparte de otras consideraciones y limitaciones, la velocidad de caída de una partícula está dada por la fórmula:

$$V = \frac{2/9 (dp - da) gr^2}{n}$$

V = Velocidad en cm/seg.

dp = Densidad de partículas (se usa 2.65 g/cc. aunque es preferible la de terminación picnométrica).

da = Densidad del líquido (para agua se usa 1 g/cc)

g = Gravedad (980 cm/seg²)

r = Radio de la partícula en cm. (las partículas se consideran esféricas).

n = Viscosidad del medio líquido (para el agua se usan 0.008 poises, aunque varía de 0.01005 a 15° C hasta 0.00723 a los 35° C).

Conocida la velocidad, para un espacio de caída de la partícula se tiene que:

$$S = vt$$

$$t = S/v, \text{ generalmente el espacio de caída es de 10 cm. luego } t = \frac{10}{V}$$

Usando esta ecuación se pueden fraccionar las arcillas en tamaños menores de 2 micras dependiendo del tiempo de caída.

En 1936 Wadell propuso una modificación de la ecuación de Stokes y asumió que las partículas no eran esféricas sino con formas entre un disco y una esfera Royse (18). Su nueva ecuación fué:

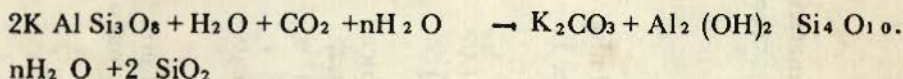
$$v = \frac{1/7 (dp - d) gr^2}{n}$$

Con esta ecuación los valores corresponden al 64o/o de los obtenidos según Stokes, para los mismos tipos de consideraciones y limitaciones.

Es conveniente indicar cual de las ecuaciones se escoge cuando se pretende usarla en el fraccionamiento de las arcillas. Por otra parte, cuando el fraccionamiento es al nivel de las 80 milimicras de diámetro equivalente es preferible usar métodos de centrifugación.

Para los análisis rutinarios de la textura se emplean los métodos de la pipeta y del hidrómetro, siendo este último procedimiento el más utilizado.

Las arenas y los limos son restos de minerales primarios (tales como cuarzo, feldspatos, minerales ferromagnésicos, etc.) que contribuyen a una buena percolación del agua y una buena aireación y además se meteorizan continuamente para liberar cationes como el Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, etc. que se conocen como los elementos nutritivos para las plantas. Como ejemplo de mineral primario en el suelo se puede citar la ortoclasa ($KAlSi_3O_8$) que al meteorizarse libera K:



Las arcillas son minerales que nacen del proceso de meteorización ($Al_2(OH)_2 \cdot Si_4O_{10} \cdot nH_2O$) y por ello se les conoce como minerales secundarios. Dados algunos procesos de resquebrajamiento de sus laminillas y exposiciones de sus bordes (como en la caolinita) y de sustituciones isomórficas (como en las arcillas tipo 2:1) generan cargas negativas y por consiguiente son capaces de retener los cationes liberados por las fracciones primarias. Esta capacidad de retención de cationes (unos cationes son de naturaleza floculante y otros de naturaleza defloculante) y su pequeñísimo tamaño (que le proporciona una gran superficie de exposición) le dan a esta fracción su naturaleza dinámica. Y, junto con la materia orgánica humificada, constituyen la parte más activa de los suelos.

De una compilación de datos texturales se obtuvieron los valores promedio (Cuadro 2) de los contenidos de arcillas y materia orgánica por "formaciones ecológicas" de Colombia.

Cuadro 2

Estimativos de arcilla y materia orgánica en suelos de diferentes formaciones ecológicas de Colombia

	Arcillas o/o		Materia orgánica o/o	
	Capa A	Capa B	Capa A	Capa B
Bosque seco tropical Palmira, Patía, Valle de Risaralda, Tolima, Corozal (Bol.)	21.33	32.87	3.54	1.64
Bosque húmedo tropical Vega Rio Guatiquía (Meta)	20.12		1.23	
Bosque húmedo subtropical La Unión (N), Caicedonia, Medellín, San Pablo (N)	18.94	22.86	3.36	2.41
Bosque seco Montano bajo Bogotá, Pasto, Ipiales	23.81	21.88	5.75	3.23
Bosque muy húmedo Montano bajo Sibundoy (Putumayo)	9.09	11.23	11.87	9.32
Bosque húmedo Montano Tuquerres (N)	10.26	15.20	6.75	1.62

Las fracciones mineral y orgánica (humus) retienen elementos nutritivos y agua y son las que mayor influencia tienen en el comportamiento mecánico o físico del suelo. Por tanto la presencia de arcilla debe estudiarse en relación a su cantidad y tipo. Una arcilla tipo 1:1 como la caolinita o halloysita, posee propiedades de comportamiento mecánico muy diferente a una de tipo 2:1, especialmente si se trata de la montmorillonita.

La fracción arcillosa se puede determinar mediante diversos tipos de análisis, y preferiblemente mediante su combinación, tales como rayos X, análisis térmico diferencial, capacidad de intercambio de cationes, análisis químico total, determinación de potasio total. Sin embargo una de las técnicas usadas con mayor frecuencia es la de los rayos X.

Rayos X.

Uno de los procedimientos más utilizados ha sido el reportado por Whitting (21), que básicamente fracciona la muestra del suelo después de eliminar la materia orgánica con H_2O_2 , las sales solubles con agua destilada si se trata de suelos salinos y los óxidos de hierro con ditionita de sodio, ya que con estos componentes no se obtienen difractogramas nítidos que permitan el reconocimiento de los tipos de arcillas presentes particularmente en la fracción menor de 0.2 micras de diámetro equivalente.

Los difractogramas de algunos suelos del Valle del Cauca y Cauca (Fig. 1-1a, 2-2a y 3-3a.) muestran la presencia de los tipos de arcillas en las fracciones de 2 a 0.2 y menores de 0.2 micras. Las figuras 1-1a. corresponden a un suelo de características ulticas clasificado, de acuerdo con la 7a. aproximación, como epipedon umbrico del orden ultisol, sub-orden Udul; gran grupo paleoudult y posiblemente del subgrupo plinthitic paleoudul. Es un suelo con 40% de arcillas, 26.6% de limos y 33.4% de arenas, con densidad aparente de 1.42 g/cc., límite plástico inferior de 38.03%, superior de 59.05% e índice plástico de 21.02%, que lo clasifica como plástico. El Cuadro 3 registra sus características químicas para la profundidad 0 - 30 cm.

Sus difractogramas detectan tanto en la fracción de 2 a 0.2 como en la menor de 0.2 micras la presencia de arcillas del tipo 1:1 muy posiblemente caolinita y/o halloysita. El suelo posee características especiales debido a la influencia de cenizas volcánicas mezcladas con materiales aluviales. Se estima que pertenece a un antiguo delta abanico, que puede alcanzar unas 30 a 40.000 hectáreas. Posee coloración rojiza como aquellos que se denominan lateríticos en forma general y que posteriormente (1950) se designaron como latosoles, siendo el criterio más importante para su identifica-

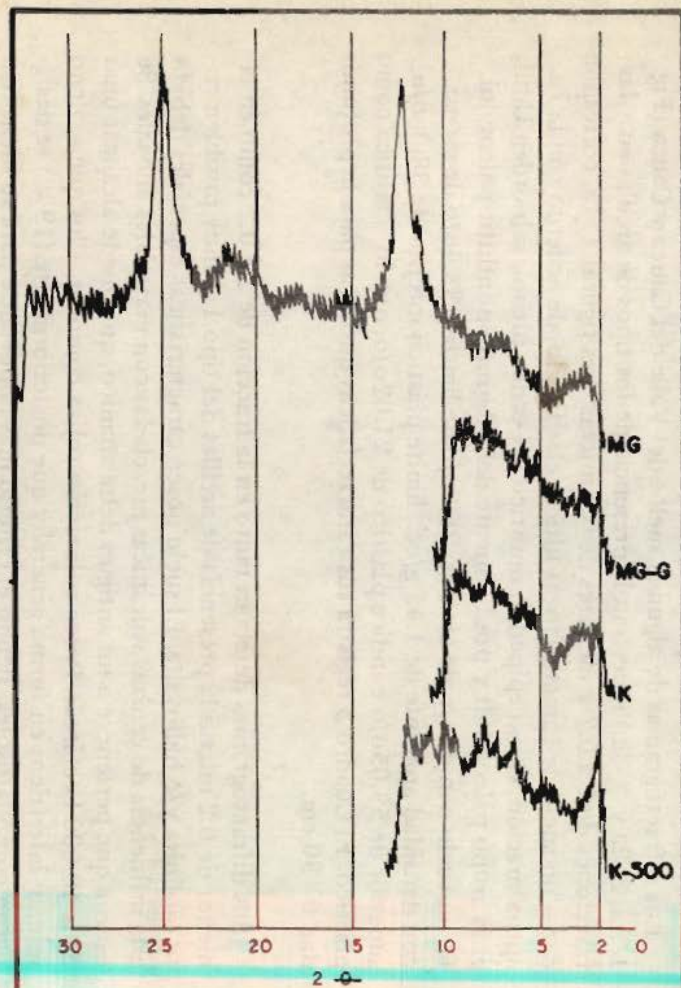


FIG. I. — GRAFICAS DE DIFRACCION DE RAYOS X.
Muestra 5 FRACCION $> 0.2 \mu$

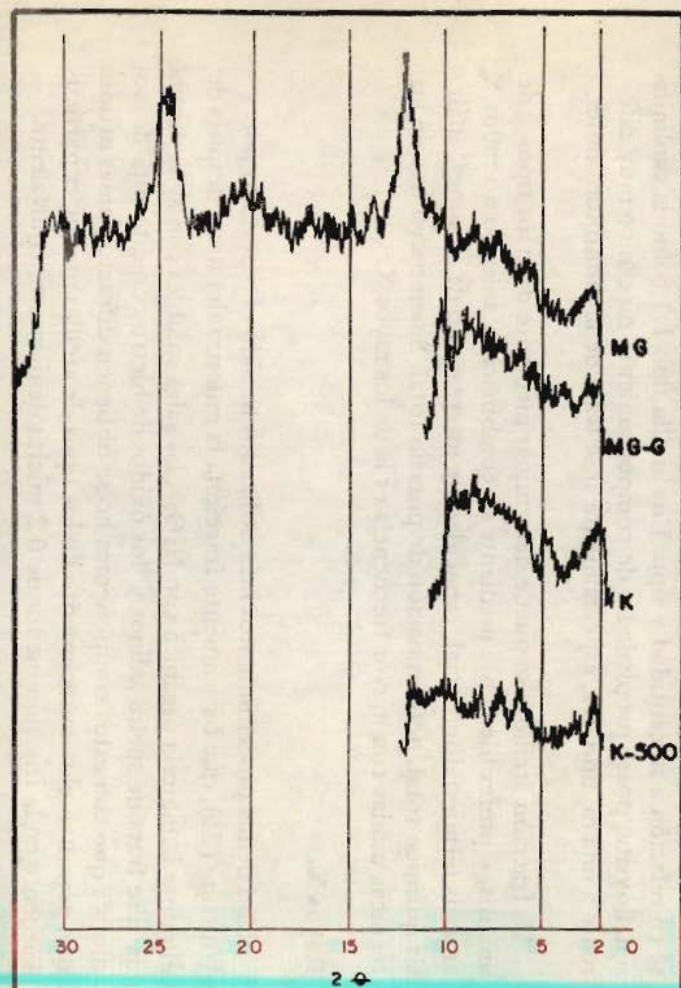


FIG. I.A. — GRAFICAS DE DIFRACCION DE RAYOS X.
Muestra 5 FRACCION $< 0.2 \mu$

Cuadro 3

Características químicas de un suelo ultico

pH	4.6
C, o/o	4.8
N, o/o	0.4
Al, meq/100 g(acidéz potencial)	5.2
Ca, meq/100 g.	3.1
Mg, meq/100 g.	2.5
K, meq/100 g	0.24
Na, meq/100 g	0.41
CCC, meq/100 g	40.7
P, ppm	8.2
<u>SiO₂</u>	1.7
R ² O ₃	

ción que tuviera una relación sílice/sesquióxidos menor de 2. Además, clasifica en los ferralíticos, suelos tropicales con condiciones químicas pobres y físicas buenas, relación sílice/sesquióxidos menor de 2, con caolinita como el tipo de arcilla dominante y baja capacidad de cambio. Sólo para esta última propiedad no tienen comparación.

También se conocen como suelos tropicales ferruginosos los similares a los anteriores pero con mayores contenidos de minerales meteorizables y presencia de arcillas de los tipo 2:1 y 1:1 (Buringh, 3). La tendencia actual es la de clasificar estos suelos basándose más en el contenido de Fe₂ O₃ (óxidos libres) y de minerales meteorizables.

Muestra de este suelo se sometió a estudio de sus arenas finas entre 100 - 180 micras de diámetro - equivalente. Al estudiar con bromoformo su fracción pesada (>2.9 g/cc) alcanzó valores de 15-20o/o de arena del tamaño aproximado a 100 micras. Esta fracción fué reconocida como magnetita.

Las figuras 2 -2a. y 3 - 3a. muestran los tipos de arcillas en suelos de las terrazas aluviales media y baja del Valle del Cauca cerca a la ciudad de Palmira. Las figuras 2 -2a. corresponden a un suelo productivo y con alto nivel de fertilidad. Como arcillas dominantes se detectaron las micas (illitas),

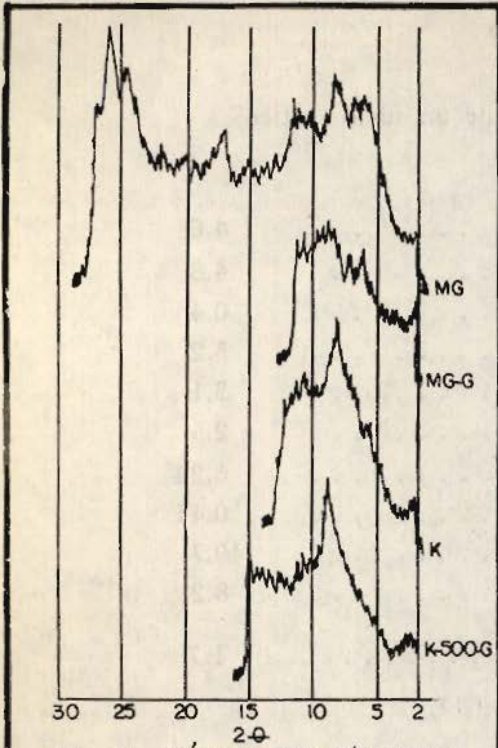


FIG. 2.- Gráfica de Difracción Rayos X
Muestra 10 Fracción $>0.2\mu$

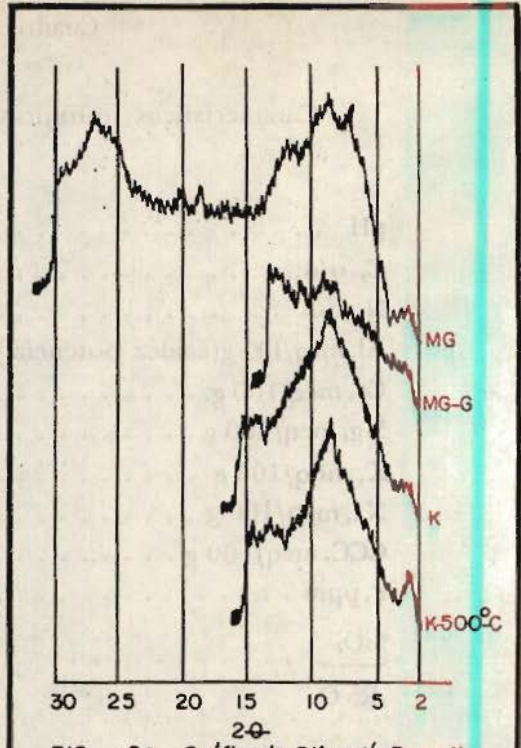


FIG. -2a - Gráfica de Difracción Rayos X.
Muestra 10 Fracción $<0.2\mu$.

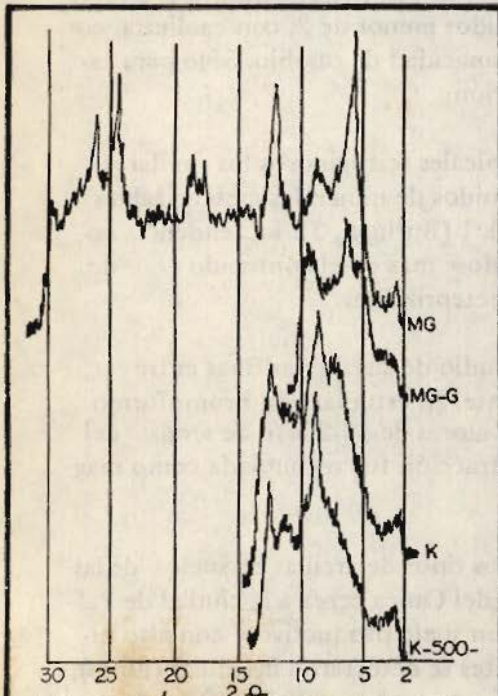


FIG -3.- Gráficas de Difracción de Rayos X.
Muestra 27 Fracción $>0.2\mu$

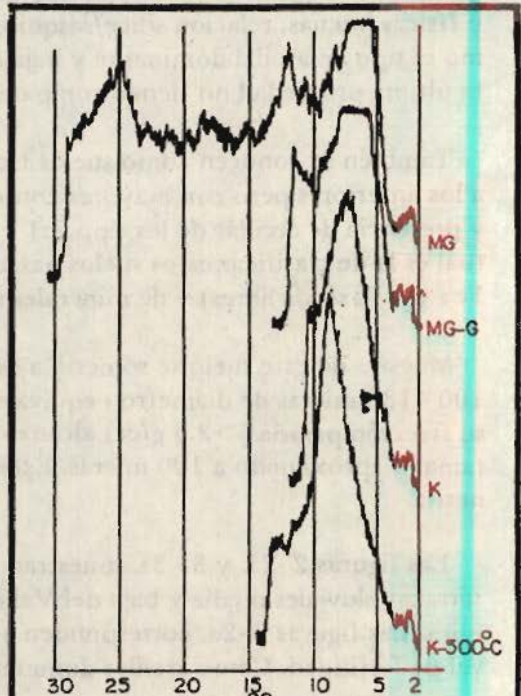


FIG. 3a- Gráficas de Difracción de Rayos X.
Muestra 27 Fracción $<0.2\mu$.

vermiculita, caolinitas, con pequeña presencia de montmorillonita. Es un suelo franco arcilloso de 35 - 40 cm. de profundidad sobre material arenoso muy fino. Las figuras 3 - 3a. son de un suelo de limitada productividad, de características salino-sódicas, cuyas arcillas dominantes fueron vermiculitas, montmorillonitas, micas (illitas), caolinitas, con incrementos en las intensidades de los picos característicos de montmorillonita en la fracción menor de 0.2 micras de diámetro equivalente. Es un suelo de 28 cm. en su capa arable sobre materiales franco limosos hasta arenosos muy finos.

Es importante anotar que en las muestras analizadas no se presentaron diferencias mineralógicas entre las fracciones mayor y menor de 0.2 micras en un mismo suelo, pero sí entre los suelos estudiados. Se destaca la presencia de fuertes intensidades en la fracción menor de 0.2 micras para el suelo salino-sódico debido a la mayor presencia de montmorillonita. Las características químicas de los dos últimos suelos se presentan en el Cuadro 4.

Se puede destacar la estrecha relación entre los análisis de rayos X y los químicos. La presencia de arcillas 2:1 da al suelo mayor grado de fertilidad como se puede apreciar entre el ultisol y el suelo normal. Sin embargo, cuando entre las arcillas dominantes tipo 2:1 se destaca la montmorillonita el enriquecimiento en bases tiende a ser mayor, particularmente en iones sodio y magnesio, como ocurre en la terraza baja del Valle del Cauca (suelo salino-sódico) lo que vuelve a los suelos cada vez más sódicos y/o magnésicos en la medida en que se lavan las sales solubles. Además, significa que los suelos adquieren características de defloculación que retardan el movimiento del agua. Sus conductividades hidráulicas bajo condiciones de saturación serán cada vez más bajas.

Relacionado con la textura de los suelos se encuentra entonces que no sólo la cantidad de arcilla es lo más importante, sino la naturaleza de la arcilla, que también afecta las propiedades físicas de los suelos y por ende su capacidad para dar nutrimentos a las plantas. Para 22 suelos de la parte plana del Valle del Cauca se presentó marcada variación textural (Cuadro 5). Las arcillas variaron de 14.14 a 70.48%, siendo el separado con mayor rango. Las texturas más pesadas se observan asociadas a los vertisoles, inceptisoles y al ultisol.

Coefficiente de dispersión .

Intimamente asociado al comportamiento de las arcillas, su agregación y estabilidad de sus agregados al agua, se estudia el coeficiente de dispersión que se estima de la siguiente manera (Dan et al, 4):

Cuadro 4

Características químicas de un suelo normal y de uno salino-sódico del Valle del Cauca

	Suelo Normal (terrazza media)	Suelo Salino-Sódico (terrazza baja)
pH	6.1	7.7
M Oo/o	4.3	2.4
Ca meq/100g.	11.8	17.2
Mg meq/100g.	5.2	14.8
K meq/100 g.	0.37	0.21
Na, meq/100 g.	0.17	14.0
CCC meq/100 g.	22.6	36.3
P ppm	28.6	16.4
Textura	Franco Arcilloso	Arcilloso limoso
Saturación de sodio, o/o de la suma de bases		30.33
Cond. Eléctrica, milimhos/cm.		9.9

$$S = a/b \times 100$$

S = coeficiente de dispersión o/o

a = o/o de arcillas estimado sin uso de dispersante químico, según análisis de microagregados. Es decir con agitación manual.

b = o/o de arcilla determinado en la muestra de suelo usando dispersantes químicos, según método generalizado para determinar la textura del suelo. Se recomienda que la estimación de las arcillas se haga por el método de la pipeta.

Esta determinación se asocia con la naturaleza estructural de los suelos y es una manera de evaluar la estabilidad de agregados del suelo al agua. Un suelo u horizonte de un perfil, que sea estable permite determinadas prácticas de manejo. Por ejemplo, se pueden citar la duración de un drenaje topo, la efectividad de una subsolación, duración de taludes en canales,

Cuadro 5

Textura de algunos suelos de la parte plana del Valle del Cauca, Colombia (Método del hidrómetro)

Conjuntos	Clasificac.según C.V.C.	o/o arenas	o/o limos	o/o arcillas	Textura
MOLISOLES					
Nima	Entic-Haplustoll	46.64	38.72	14.64	F
Florida (Saso)	Entic-Haplustoll	28.24	45.28	26.48	F
Palmira	Pachic-Haplustoll	30.24	38.38	31.38	F Arc.
Río Cauca	Fluvaquentic-Haplustoll	13.36	58.00	28.64	F. L.
Guadualito	Fluvaquentic-Haplustoll	42.24	39.28	18.48	F
Dpto.Molina	Fluventic-Haplustoll	33.68	35.28	31.04	F. Arc.
Manuelita	" "	47.52	22.00	30.48	F. Arc.
Cartago	Tipic-Heplustoll	38.24	37.28	24.48	F
Río de la Paila	Fluventic-Hapludoll	25.52	38.00	36.48	F. Arc.
Río Palo	Fluvaquentic-Hapludoll	32.08	45.28	22.64	F
VERTISOLES					
Galpón	Tipic-pellustert	26.25	38.00	35.75	F Arc
Esneda	" "	25.52	29.28	45.20	Arc.
Burriga	Tipic pelludert	11.52	18.00	70.48	Arc.
ENTISOLES					
Juanchito	Vertic-tropic-Fluvaquent	7.92	41.44	50.64	Arc. L.
Sauce	Tipic-Ustifluent	42.24	41.28	16.48	F
ALFISOLES					
Palmaseca	Petro-calcic- natrustalf	29.52	48.72	21.76	F
Tortugas	Aeric-tropaqualf	39.92	30.60	29.48	F. Arc.
INCEPTISOLES					
Palmieras	Vertic-ustropept	24.24	30.72	45.04	Arc.
Bengala	Vertic-Eutropept	20.08	41.28	38.64	F. Arc.
Novillera	Tipic-Eutropept	30.24	42.00	27.76	F. Arc.
Pto. Tejada	Vertic-Trpaquept	18.24	36.00	45.75	Arc.
ULTISOL					
Bachan (Sn.Julian)	Tipic-Tropudult	36.24	20.72	43.04	Arc.

Para 3 suelos de la parte plana del Valle y uno desarrollado a partir de cenizas volcánicas (1 500 m.s.n.m.) y para los suelos de las formaciones ecológicas de Colombia se determinó la estabilidad de los agregados al agua registrados en los Cuadros 7 y 8 respectivamente.

Así como los agregados mayores de 2 mm. de diámetro equivalente tienden a disminuir con la altura los menores de 0.25 mm. tienden a aumentar (Fig. 4). Si se compara con el tipic-dystrandept se encuentra que este suelo fué también el que mostró el mayor o/o en agregados menores de 0.25 mm. Según los resultados se tendría que interpretar que los suelos ando, que son los más comunes en las montañas colombianas de las cordilleras Central y Occidental, tienen mayor estabilidad estructural al agua, sin embargo, se debe tener en cuenta que la naturaleza de la M. O y su origen de cenizas volcánicas pueden jugar un papel importante en los resultados, llevando a pensar en una más pobre estabilidad cuando la metodología utilizada pudiera no ser la más recomendada. Esta última consideración tendrá que ser sometida a nuevas observaciones y estudios. La agregación de los suelos y la estabilidad de sus agregados al agua tienen relación con la porosidad y aireación para las plantas que crecen en ellos. Sin embargo, otra propiedad de los suelos estrechamente relacionada con las anteriores es la densidad.

Densidad.

Por definición la densidad de un suelo se obtiene bajo condiciones de sequedad a la estufa a 105 - 110° C durante 24 horas. Si se calcula a un determinado contenido de humedad éste debe expresarse y a que hay suelos que sufren diferentes grados de expansibilidad. La densidad, relación peso: volúmen, se determina de dos maneras: a) Densidad aparente, si el peso seco del suelo se relaciona con el volúmen que ocupa el suelo con su arreglo estructural; esto es, que el volúmen del espacio poroso está involucrado en la medida; y b) La gravedad específica o densidad real cuando el volúmen se refiere solamente a la parte sólida del suelo, es decir, no se tiene en cuenta el arreglo estructural. La densidad aparente se acostumbra a determinar por medio del método del cilindro hueco (núcleo), pero es importante acompañar el o/o de humedad del suelo al momento de la determinación; el método de la parafina que consiste en introducir un terrón seco en parafina a 65° - 70° C. El peso del terrón se relaciona al nuevo peso del terrón parafinado en agua (principio de Arquímedes). Es posible usar otras coberturas impermeabilizantes, pero la dilución de una solución de caucho (Boxer) en benceno en la relación 1: 30 ofrece ventajas sobre la parafina porque la película de cobertura es mucho más delgada, y se puede usar en el campo sin necesidad de la fuente de calor

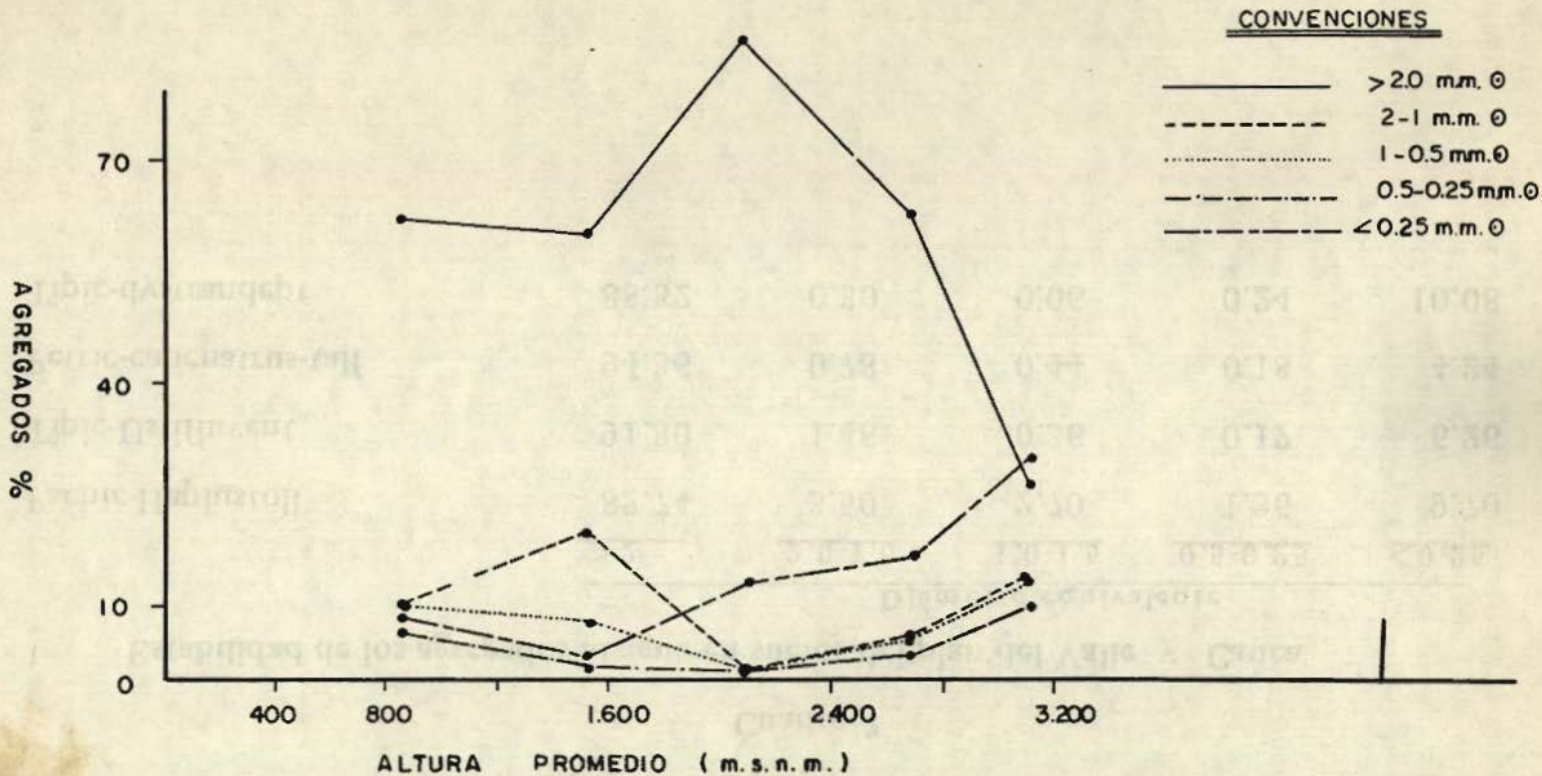


FIG. 4.— Relación entre altura y agregados de diversos tamaños en el horizonte. A en Colombia.

Cuadro 7

Estabilidad de los agregados al agua en suelos del plan del Valle y Cauca

	Diámetro equivalente				
	<u>>2</u>	<u>2.0-1.0</u>	<u>1.0-1.5</u>	<u>0.5-0.25</u>	<u><0.25</u>
Pachic-Haplustoll	82.74	3.50	2.70	1.36	9.70
Tipic-Ustifluent	91.80	1.46	0.36	0.12	6.26
Petric-calicnatus-talf	94.36	0.78	0.44	0.18	4.24
Tipic-dystrandept	88.32	0.30	0.06	0.24	10.08

Cuadro 8

Estabilidad promedio de los agregados al agua en suelos de distintas formaciones ecológicas de Colombia

	diámetro equivalente (mm.)				
	> 2	2.0-1.0	1.0 -0.5	0.5-0.25	<0.25
Bosque seco tropical					
Capa A	62.60	9.18	9.32	7.03	8.46
Capa B	51.77	10.95	11.61	10.16	5.74
Bosque húmedo subtropical					
Capa A	59.78	19.55	7.65	1.92	2.85
Capa B	43.25	28.20	10.46	4.40	5.12
Bosque seco montano bajo					
Capa A	64.35	7.17	6.92	3.54	17.49
Capa B	61.91	7.17	7.76	5.57	14.71
Bosque muy húmedo montano bajo					
Capa A	84.19	0.36	0.56	0.53	15.10
Capa B	83.65	1.14	0.74	0.63	13.82
Bosque húmedo montano					
Capa A	27.17	16.81	15.89	10.34	29.69
Capa B	38.30	9.03	12.24	9.27	27.53

para derretir la parafina. Además, la determinación de la humedad se verá menos afectada por cuanto la muestra no se somete a la temperatura de 65 - 70° C de la parafina, procedimiento que le hace perder entre un 6 a 10o/o de su humedad original falseando el valor de la densidad aparente a sus respectivos contenidos de humedad.

La densidad real se acostumbra determinar por medio del picnómetro. La relación entre estos dos valores permite calcular la porosidad total del suelo así:

$$\text{o/o espacio poroso total} = \left(1 - \frac{D. \text{ aparente}}{D. \text{ real}}\right) \times 100$$

Esta porosidad total no caracteriza el tamaño de los poros. Para una verdadera evaluación de la porosidad es necesario conocer que proporción es capilar (microporos) y cual no lo es (macroporos). Una muestra de suelo se puede someter a saturación total y posteriormente a 1/3 de atmosfera de tensión (capacidad de campo), así la porosidad capilar se calcula entonces del volúmen, peso, contenido de humedad, densidades. Es decir se asume que la diferencia en peso se debe al agua que ocupa los macroporos. La porosidad capilar equivale al contenido de humedad expresado en o/o de volúmen a 1/3 de atmosfera. La porosidad no capilar es la diferencia entre la total y la capilar. Un volúmen no capilar menor del 10o/o se considera limitante para la mayoría de las cosechas.

Para el Bosque húmedo tropical (Vega del Río Guatiquía, Llanos Orientales) se estimó la densidad aparente (Cuadro 9) por el método del núcleo y para un 33o/o de humedad las proporciones de macro y microporos en función de los contenidos de humedad a punto de saturación y capacidad de campo fueron:

Porosidad total: 50o/o, según ecuación

$$\text{Porosidad total} - \text{CC} \times 1.37 \text{ g/cc} = \begin{array}{l} 19.63\text{o/o volúmen macroporos} \\ 30.37\text{o/o volúmen microporos} \end{array}$$

Asumiendo la porosidad total como la ocupada por agua a punto de saturación se tendría, para la misma densidad aparente:

Porosidad total	66.84
Microporosidad	31.07
Macroporosidad	35.77

Se asume que la densidad aparente no varía con la humedad por ser suelos con poca materia orgánica y arcillas del tipo caolinita. Por los dos métodos no se aprecia diferencia para la microporosidad, pero si para la macroporosidad.

Cuadro 9

Densidad real y aparente y porosidad total en suelos de distintas formaciones ecológicas de Colombia (valores promedio)

	Densidad g/cc		Porosidad Total
	Real	Aparente	
Bosque seco tropical			
Capa A	2.43	1.45	40.47
Capa B	2.46	1.50	37.97
Bosque húmedo tropical			
Capa A	2.74	1.37*	50.70
Capa B	2.72	1.28*	53.27
Bosque húmedo subtropical			
Capa A	2.59	1.30	49.49
Capa B	2.62	1.27	50.28
Bosque seco montano bajo			
Capa A	2.45	1.21	50.36
Capa B	2.52	1.29	48.23
Bosque muy húmedo montano bajo			
Capa A	2.36	0.97	54.36
Capa B	2.40	1.06	58.90
Bosque húmedo montano			
Capa A	2.54	1.14	55.17
Capa B	2.60	1.19	53.58

* Determinada por el método del núcleo. La densidad real se determinó por el método picnométrico y los valores restantes de la densidad aparente por el método de recubrimiento con parafina.

Para los grupos de suelos de la parte plana del Valle del Cauca la densidad aparente disminuye con el grado de humedad (Figura 5), debido a la notable presencia de arcillas expandibles.

Una comparación de los valores volumétricos de humedad considerando la densidad aparente en punto de saturación capacidad de campo y punto de marchitamiento se aprecia en el Cuadro 10 y se puede visualizar mejor en la figura 6 al relacionar los contenidos volumétricos de humedad, contra sus respectivas tensiones. Se aprecian las diferencias en agua aprovechable entre los diferentes grupos de suelos.

El autor, compara la densidad aparente determinada por diferentes métodos (Cuadro 11) en dos sitios de un mismo suelo de la Estación Agrícola Experimental de Palmira: un cacaotal sombreado con samanes y otro a unos 100 m. sometido a cultivo anual mecanizado (soya, fríjol, maíz) durante unos 25-30 años de explotación.

La densidad por el método del núcleo tiende a disminuir con el contenido de humedad en la muestra del suelo, característica que se acentuará principalmente según la cantidad y tipo de arcilla predominante. Los datos de muestras secas en estufa son 3 ó 4 décimas más altos debido al engorgamiento de los suelos al someterlos al secamiento de 105-110°C durante 24 horas. Sin embargo, este último procedimiento es aprovechable dependiendo de interpretaciones adecuadas o que se realicen las determinaciones a humedad de campo y luego se hagan las correcciones del caso ya que sus datos tienden a acercarse a los determinados por el método del núcleo. Del cuadro 11 vale destacar el cambio de densidad aparente para los dos tipos de manejo del suelo y la diferencia en contenido de materia orgánica oxidable.

La densidad aparente cuando se interpreta adecuadamente es una herramienta muy útil para el manejo de los suelos. Indica las relaciones de aireación del suelo, el grado de compactación de los mismos. Algunos autores estiman que el impedimento mecánico para el crecimiento radicular es más crítico que el abastecimiento de oxígeno.

La compactación restringe el crecimiento de las raíces y consecuentemente de las plantas. Ninguna raíz de girasol penetró al suelo cuando la densidad aparente fué de 1.9 g/cc, en suelos arenosos el valor limitante fué 1.7 - 1.8 y en arcillosos 1.6 - 1.7 g/cc.

Consistencia.

Se define como la manifestación de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión que actúan dentro del suelo bajo varios estados de humedad. Varía

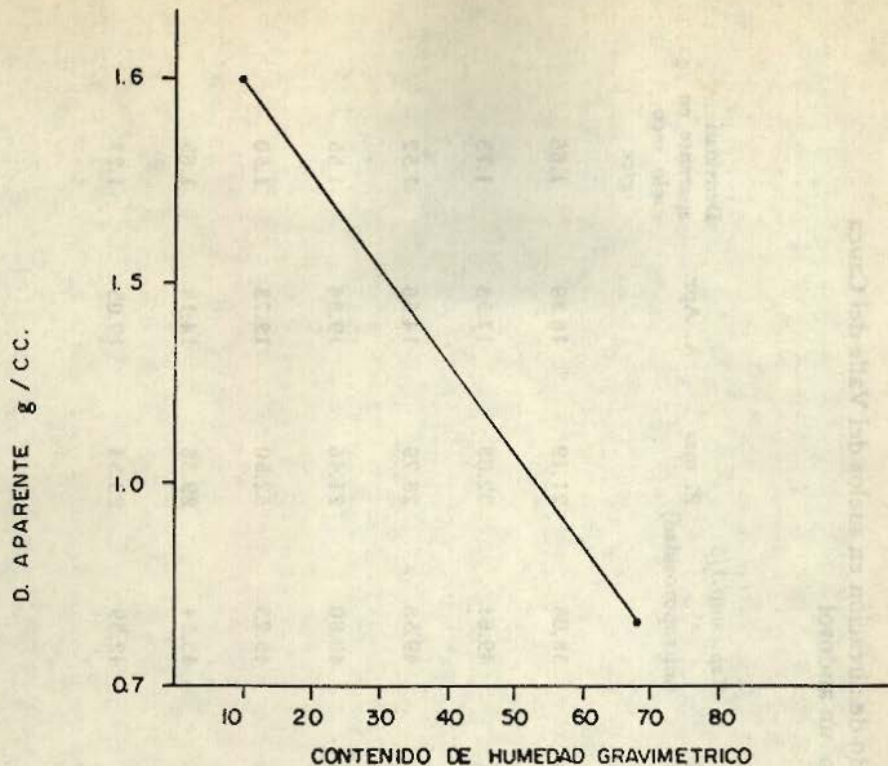


Fig. 5.— Relaciones entre la densidad aparente y los contenidos de humedad en suelos del Valle Colombia.

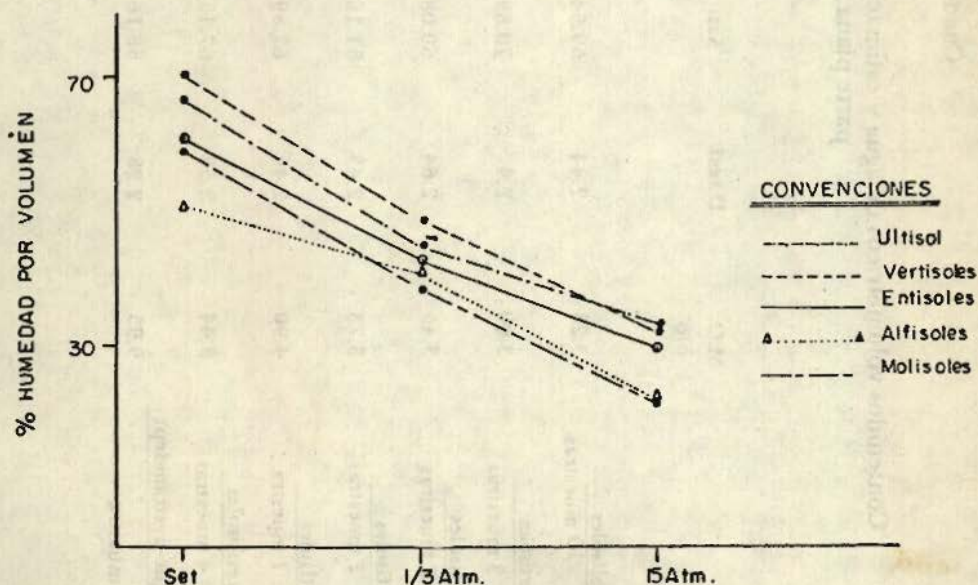


Fig. 6.— Relación entre los contenidos volumétricos de humedad y sus respectivas tensiones en suelos del plan del Valle-Colombia.

Cuadro 10

Contenidos volumétricos de agua y estimación del estado de aireación en suelos del Valle del Cauca parte plana, incluyendo un andosol

	M.O o/o	D.real	Sat.	Macrop.	Cap.camp.1/3 at (microporosidad)	P. mar	A. Apr.	Densidad aparente en suelo seco, g/cc
<u>Molisoles</u> \bar{x} 10 muestras	3.28	2.44	59.54	21.46	38.08	21.19	16.89	1.66
<u>Vertisoles</u> \bar{x} 3 muestras	3.00	2.47	70.89	21.28	49.61	32.08	17.53	1.73
<u>Entisoles</u> \bar{x} 2 muestras	3.45	2.64	60.08	16.55	49.53	28.79	14.56	1.52
<u>Alfisoles</u> \bar{x} 2 muestras	3.73	2.43	51.16	10.36	40.80	21.46	19.34	1.55
<u>Ultisoles</u> 1 muestra	4.90	2.45	67.89	22.60	45.23	32.50	12.73	1.50
<u>Inceptisoles</u> \bar{x} 4 muestras	3.44	2.58	67.15	23.61	43.54	29.36	14.18	1.65
<u>Typic-dystramdept</u> 1 muestra	9.95	2.28	56.16	13.77	42.39	23.34	19.05	1.27

Cuadro 11

Comparación de la densidad aparente determinada por varios métodos en dos sitios de un suelo de la Estación Agrícola Experimental de Palmira, sometidos a distintos tipos de manejo (Mayo 22, 1980, 9 a.m.)

Manejo del suelo ± 25-30 años	Humedad de campo o/o	M. O o/o	Método núcleo g/cc	Cobertura a la misma humedad con:		Cobertura de suelo seco a la estufa:	
				Parafina g/cc	Bóxer-Benceno g/cc	Parafina g/cc	Boxer-Benceno g/cc
Cacaotal							
0 - 20 cm.	35.62	3.1	1.17	1.21	1.36	1.74	1.69
20 - 35 cm.	24.47	3.7	1.39	1.47	1.54	1.89	1.82
Cultivo anual							
0 - 25 cm.	21.77	2.6	1.42	1.42	1.54	1.78	1.80
25 - 35 cm.	21.61	2.6	1.51	1.49	1.48	1.83	1.82

Dato corregido por humedad para asimilarlo al método del núcleo.

con la textura, materia orgánica, cantidad y naturaleza del material coloidal, hasta cierto punto con la estructura y especialmente con el contenido de humedad.

A muy bajos contenidos de humedad el agua cerca de las partículas adquiere gran coherencia o viscosidad similar a la del hielo. A mayores contenidos de humedad el suelo se vuelve plástico y pegajoso, esto es, adquiere características de flujo o sea que las propiedades de viscosidad del suelo se vuelven similares a las del agua en estado líquido. Un suelo plástico y pegajoso pierde estas propiedades cuando su contenido de agua decrece. Adquiere entonces las características de friabilidad siendo suave al tacto. Si se incrementa la pérdida de agua el suelo pasa al estado seco volviéndose firme y aún duro.

Las sugerencias de clasificación de Atterberg sin incluir el estado viscoso, se han dividido en :

1. Estados de consistencia pegajosa. Características de adherencia a los objetos.
2. Estado de consistencia plástica. Características para ser moldeado.
3. Estado de consistencia suave. Características friable.
4. Estado de consistencia firme. Caracterizado por su dureza.

La plasticidad se clasifica según el valor del índice de plasticidad así: no plástico (< 14o/o), ligeramente plástico (14-19), plástico (19-24) y muy plástico (> 24o/o).

Variación de la consistencia con la humedad.

	Seco	Húmedo	Muy húmedo	
Formas de consistencia	Duro	Friable o suave	Plástico y pegajoso	Viscoso y muy pegajoso.
Formación de terrones		Óptimas condiciones para el laboreo	El suelo sufre amasamiento.	El suelo fluye fácilmente.

Su evaluación mediante técnica de laboratorio se expresa como el o/o de humedad al límite plástico superior, al límite plástico inferior e índice de plasticidad que se obtiene al restar el o/o de humedad al límite plástico inferior del o/o de humedad del límite plástico superior. El o/o de humedad al límite plástico inferior se considera como el límite superior en contenido de humedad del suelo para ser sometido a laboreo de mecanización.

Segun el I. de plasticidad (Cuadro 12) los suelos de las diferentes regiones colombianas son en su mayoría no plásticos o ligeramente plásticos, según los valores promedio analizados. En otros países muchas propiedades de los suelos se han relacionado no sólo a la clasificación de plasticidad, sino a los valores absolutos de algunos de los límites de plasticidad.

Perfil del suelo

La característica morfológica del perfil determina también el comportamiento de los suelos para ser dedicados a un tipo particular de explotación. Con lo anterior en mente se puede entrar a observar los perfiles de los suelos, que pueden ser tan variables cuantos puntos existan sobre la superficie terráquea. Los perfiles desde un punto de vista práctico se deben asociar hasta el punto que las agrupaciones presenten características evidentes de similitud. Así los perfiles pueden variar desde livianos (arenosos) hasta pesados (arcillosos), con todas las combinaciones desde el punto de vista anisotrópico en sí. La Figura 7 esquematiza la variabilidad de las características estratigráficas de los suelos en una zona aluvial. Así como se puede observar en detalle el perfil C, también se pueden apreciar los otros perfiles, siendo lo más importante relacionar las características morfológicas con las capacidades de uso y manejo. Para los cultivos es importante estimar el movimiento del agua dentro del perfil y la presencia de capas endurecidas.

En gran parte como se dijo anteriormente, las características físicas y químicas de los suelos dependen de los tipos de arcillas dominantes. Esto en particular se cumple para los suelos arroceros bajo condiciones de su - mersión ya que el arroz parece crecer mejor en condiciones muy bajas de difusión de oxígeno.

El arroz es tal vez la única planta cultivable capaz de crecer y producir a muy bajos niveles de difusión de oxígeno ($0.07 \text{ ug cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$), mientras que valores de $20 \times 10^{-8} \text{ g cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ó $0.2 \text{ ug cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$, que corresponde a tener con aire un 10o/o de la porosidad del suelo, limitan el normal crecimiento de otras plantas. Para el maíz se ha reportado un nivel crítico de $0.10 \text{ ug cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$.

Cuadro 12

Contenidos de humedad a diferentes límites de plasticidad en suelos de Colombia

	Límite plástico		Índice p lástico
	Superior o/o	Inferior o/o	
Bosque seco tropical			
Capa A	46.49	26.82	14.48
Capa B	37.34	24.31	13.49
Bosque húmedo tropical			
Capa A	32.28	26.36	5.92
Capa B	33.43		
Bosque húmedo subtropical			
Capa A	36.67	31.24	5.43
Capa B	36.34	33.37	2.97
Bosque seco montano bajo			
Capa A	48.16	39.48	8.68
Capa B	43.93	37.82	6.11
Bosque muy húmedo montano bajo			
Capa A	40.57	35.66	4.91
Capa B	36.06	31.76	4.30
Bosque húmedo montano			
Capa A	64.93	43.44	21.48
Capa B	52.85	33.40	19.43
Para suelos del plan del Valle del Cauca:			
Conjunto:			
Palmira-Pachic-haplustoll	55.41	46.14	9.27
Sauce-tipic-Ustifluent	46.92	27.12	19.80
Palmaseca-Petric-calcic-natrustalf	32.38	26.68	5.70

Escala vertical aumentada.

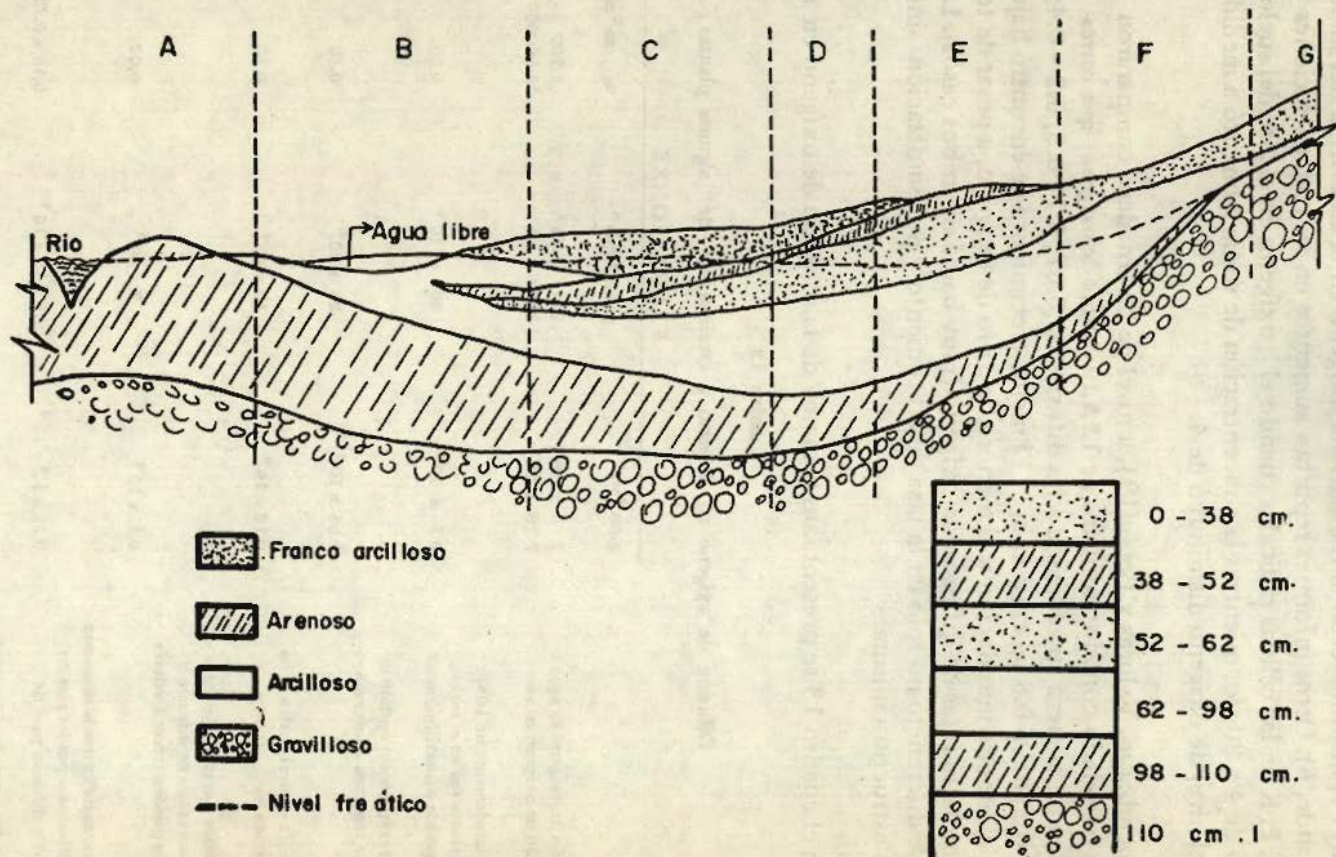


FIG. 7. Ilustración esquemática de un corte transversal en una zona aluvial

Las raíces bien aireadas son más permeables que las poco aireadas, y en raíces de plántulas de cítricos las cantidades de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, B, Fe, disminuyeron al reducirse el oxígeno en la atmósfera del suelo (Gavande, 6). Otros informes reportan aumentos en las concentraciones de N, P, K en las células radicales cuando el oxígeno en el aire del suelo subió de 4 a 20o/o, mientras la concentración de sodio aumentó a medida que el nivel de oxígeno disminuyó de 4.

Sin embargo, Valoras y Letey(19), a nivel de invernadero compararon arroz inundado con el suministro de 12,5,10 y 21o/o de oxígeno que corresponden de manera aproximada a las difusiones: 0.07; 0.1 - 0.3; 0.2 - 0.4; 0.3 - 0.5; 0.5 - 0.8 $\text{ug cm}^{-2} \text{min}^{-1}$. El mejor crecimiento se encontró bajo condiciones de inundación y el menor con 1o/o de oxígeno, a pesar de tener similares ratas de difusión de oxígeno (muy bajos en ambos casos). La raíz se diferenció no solo en la tasa de crecimiento y profundización sino en su estructura misma.

En el cuadro 13 se presenta un resumen de la difusión de oxígeno en el

Cuadro 13

Difusión de oxígeno en el suelo y crecimiento de algunas plantas

	EXPRESIONES		
	$\text{g. cm}^{-2} \text{scg}^{-1}$	$\text{g. cm}^{-2} \text{min}^{-1}$	$\text{ug cm}^{-2} \text{min}^{-1}$
Difusión de oxígeno en agua	2×10^{-5}	120×10^{-5}	1.200
Difusión de oxígeno en aire	2.26×10^{-1}	135.6×10	13.560000
Aproximadamente un 10o/o de espacio aéreo en el suelo corresponde a una difusión de	0.3×10^{-8}	20×10^{-8}	0.20
Para el crecimiento óptimo de maíz se reportan valores mayores de	0.66×10^{-8}	20×10^{-8}	0.40
Para maíz el nivel crítico se ha establecido en	0.16×10^{-8}	10×10^{-8}	0.10
Los pastos son más tolerantes a menores ratas de difusión y algunos pueden crecer a valores de	0.1×10^{-8}	7×10^{-8}	0.07
Fué más significativa la absorción de nutrientes por las plantas cuando la difusión pasó de	$0.25 \text{ a } 1.2 \times 10^{-8}$	$15 \text{ a } 72 \times 10^{-8}$	0.15 a 0.72
A nivel de invernadero la variedad de arroz tuvo mejor producción bajo inundación total que cuando la difusión de oxígeno fué	0.1×10^{-8}	7×10^{-8}	0.07

suelo y el crecimiento de las plantas. Pretendiendo un simple resumen cuando se estudian propiedades físicas en los suelos y asumiendo que se hacen dichos análisis con procedimientos apropiados, el resultado final para cualquiera que sea el tipo de manejo (preparación del suelo en sus múltiples variantes, prácticas de irrigación, etc.), la evaluación pertinente es la relacionada con el contenido adecuado de aire cerca de la raíz para el normal desarrollo de las plantas.

Pocas plantas, como el arroz de inundación, se ajustan a la anterior consideración.

BIBLIOGRAFIA

1. ARCA, M. N. and WEED, S. B. Soil aggregation and porosity in relation to contents of free iron oxide and clay. *Soil Sci.* 101 (3): 164. 1966.
2. ARCHER, I. R. and SMITH, P. D. The relation between bulk density, available water, capacity and air capacity of soils. *J. Soil Sci.* 23(4): 475. 1972.
3. BURINGH, P. Introduction to the study of soils in tropical regions. Wageningen, Landbouwhogeschool, 1968.
4. COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. Programa Agrícola. Bogotá, OPSA, 1973.
5. DAN, N. T., SZABOLES, I. and LESZTAK, J. Effect of rice cultivation on the physical properties of soils. *Agrokemia es Talajtan.* 20(3) 231-260. 1971.
6. DELGADO R, V. y ALVARADO, C. D. Caracterización de algunas propiedades físicas de los suelos del valle geográfico del río Cauca con fines de riego. Tesis Ing. Agr. Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias - U. Nal. 1979.
7. GAVANDE, A. S. Física de suelos; principios y aplicaciones. México, Centro Regional de ayuda técnica, AID, 1972.
8. GONZALEZ M., A. Influencia de dos materiales parentales en la fertilidad de los suelos del Valle del Cauca. Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1975 (mimeografiado).
9. GUPTA, G. C. Aggregate - size distribution in wet and dry state by yoder's water stable analysis technique. *Soil Sci.* 100: 322. 1965.
10. HILL, J. N. and SUMMER, M. E. Effect of bulk density on moisture characteristic of soil. *Soil Sci.* 103(4): 234. 1967.
11. ICAR, S. and VARADE, S. B. Influence of mechanical impedance on rice seedling growth. *Agron. Jour.* 64(1): 80-81. 1972.

12. JUO, A. S. R; CHI, C. L. and MILTIWU. Clay mineralogy of certain rice soils in southern Taiwan. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35(5): 831. 1971.
13. KYMA, K and KAWAGUCHI, K. The clasification of soils under rice cultivation (Paddy Soils) *An Edafología Agrobiología* 26(1/4): 439-446. 1967.
14. MELO T, J. E. Caracterización fisico-química de los suelos de la vega del río Guatiquía Dpto. del Meta, Llanos Orientales. Tesis Ing. Agr. Palmira. Facultad de Ciencias Agropecuarias. U. Nal. 1979.
15. REEVE, M. J. et al. The effect of density on water retention properties of field soils. *Jour Soil Sci.* 24(3): 355. 1973.
16. RIOS, P. S. DE LOS y ARIAS, C. Relación entre la conductividad hidráulica horizontal y vertical con la profundidad en un suelo arcilloso. Tesis Ing. Agr. Palmira, Facultad de Ciencias Agropecuarias U. Nal. 1977.
17. ROBINSON, F. E. Required percent air space for normal growth of sugar cane. *Soil Sci.* 98: 206. 1964.
18. ROYSE, CH.F. Introduction to sedinment analysis. Arizona State University, 1970.
19. VALORAS, N. and LETEY, J. Soil oxigen and water relationship to rice growth. *Soil Sci.* 101: 210-215. 1966.
20. VILLEGAS, L. M. and FEUER, R. The "Lowland" or flooded soil. In: *Rice production manual*. Laguna, University of the Phillipines, 1970. pp. 68-73.
21. WHITTING, L. D. X-ray difraction techniques for mineral identification and mineralogical composition. In: *Method of soil analysis. Part I.* Madison, American Society of Agronomy, 1965.
22. WILLIANS, B. G. et al. Technique for the determination of the stability of soil aggregates. *Soil Sci.* 101(3) 157. 1966.
23. YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.* 28: 337-351. 1936.