

# PROPIEDADES FISICO-EDAFICAS DEL PISO TROPICAL DE BARBACOAS, NARIÑO, COLOMBIA (\*)

Rodrigo Chilanguad N. \*\*

Lucio Legarda B. \*\*

Antonio Arias H. \*\*

En el experimento se determinaron la textura, agregados estables al agua, porosidad, plasticidad, capacidad de retención de humedad, materia orgánica y pH del suelo y subsuelo del piso tropical de Barbacoas.

Texturalmente predominan los suelos franco arenosos. Los valores promedios de los agregados estables al agua mayores de 2 mm. fueron de 84.14 y 83.89o/o para el suelo y subsuelo respectivamente; la densidad de las partículas fué de 2.56 en el suelo y 2.59 g/ml. para el subsuelo; la densidad aparente mostró promedios de 1.00 y 1.05 g/ml. para el suelo y subsuelo respectivamente; el índice de plasticidad dió un promedio de 15.36 y 13.26o/o para la primera y segunda capas; el espacio aéreo a 0.3 bares fué de 17.06 para el suelo y de 16.92o/o para el subsuelo; el promedio de porosidad en suelo y subsuelo 60.46 y 59.20o/o; la retención de humedad a 0.3 bares de 43.52o/o y 39.87o/o a 15 bares 18.39 y 18.70o/o para el suelo y subsuelo, respectivamente; materia orgánica 5.30 y 3.07o/o para el suelo y subsuelo, respectivamente y el pH 5.73 en la primera capa y 5.68 en la segunda capa.

Physical properties of soil and subsoil of the Barbacoas zone were determined in the present work. The properties studied were: texture, stability of water aggregates, porosity, bulk density, particle density, moisture retention, organic matter and pH.

In regards to texture, the soil were Sandy loam. Average values for stability of water aggregates greater than 2 mm. were of 84.14 and 83.89o/o for the soil and subsoil layers, respectively; particle density averages were of 2.56 in the soil and 2.59 g/ml in the subsoil; bulk density showed averages 1.00 and 1.05 g/ml in the soil and subsoil layers, respectively; the plasticity index showed 15.36 and 13.26o/o for the first and second layers; the mean air space at 0.3 bars was of 17.06o/o for soil and 16.92o/o for subsoil; porosity averages in soil and subsoil were 60.46 and 59.20 o/o respectively; water retention at 0.3 bars was 43.52 and 39.87o/o at 15:0 bars it was at of 18.39 and 18.70o/o for soil and subsoil, respectively; organic matter values showed 5.30 and 3.07o/o for the and subsoil, respectively and the 5.73 in the first layer and 5.68 in the second layer.

\* Contribución de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño.

\*\* Respectivamente: Ing. Agrónomo; Profesor Asistente, Facultad de Ciencias Agrícolas U. de Nariño y Profesor Asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias U. Nacional - Palmira.

## INTRODUCCION

El objetivo del estudio consistió en determinar y discutir algunas propiedades físico-edáficas de suelos del Piso Tropical de Barbaçoas, tales como textura, agregados estables al agua, porosidades, densidades, plasticidad y capacidad de retención de humedad. Se espera que los datos obtenidos presenten alguna visión sobre las propiedades físicas y tengan una implicación práctica en el manejo de los suelos de esta importante región de la Costa del Pacífico, Departamento de Nariño.

## MATERIALES Y METODOS

La zona en estudio está localizada en el Departamento de Nariño, Suroeste de Colombia; pertenece en su mayor parte a la Llanura del Pacífico, a excepción de una pequeña zona al Noroeste que se encuentra en la vertiente occidental de la Cordillera del mismo nombre (Ministerio de Minas, 17).

Las coordenadas geográficas del centro de la zona de estudio son:  $1^{\circ}48'23''$  de latitud Norte y  $78^{\circ}08'21''$  de longitud Oeste de Greenwich. La altitud sobre el nivel del mar oscila entre los 120 y 250 m. con un promedio de precipitación anual de 6.959 mm. La temperatura anual media es de  $30^{\circ}\text{C}$ . (Dulce y Narváez, 8).

De acuerdo a Espinel y Montenegro (11), quienes siguen el sistema propuesto por Holdridge, la zona se encuentra en su mayor parte en el bosque muy húmedo tropical (bmh-T), con una zona de transición perteneciente al bosque pluvial tropical (bp-T).

En general, los suelos de la llanura del Pacífico se asemejan a los típicos de las regiones tropicales húmedos, con abundancia de sesquióxidos de hierro y aluminio. Aunque no se descarta cierto influjo volcánico, se asemejan más los oxisoles (Eraso, Ortiz y Burbano, 9).

Siguiendo las metodologías descritas por Adames y Levy (1); Bayer, Gardner y Gardner (4); Black (6); Forsythe (13); González (16) y Silva (19), las propiedades físicas determinadas fueron las siguientes: textura, agregados estables al agua, densidad de partículas, densidad aparente, porosidad total, límite plástico superior, límite plástico inferior, índice de plasticidad, capacidad de retención de humedad equivalente y espacio aéreo, además, se determinó el contenido de materia orgánica y la reacción del suelo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### A. Textura.

La capa textural predominante en la primera capa es la franco arenosa. Igual tendencia se presenta en la segunda capa (Tabla I).



**PROPIEDADES FISICO-EDAFICAS DEL SUELO Y DEL SUB-SUELO DEL PISO  
TROPICAL DE BARBACOAS - NARIÑO**

Parámetro	SUELO			SUB-SUELO		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
Arenas, o/o	71.99	56.12	33.58	67.84	52.54	39.02
Limos, o/o	50.93	32.95	19.87	48.86	31.90	18.16
Arcillas, o/o	15.49	10.91	6.53	32.12	15.54	4.65
Agregados mayores de 2 mm, o/o	93.50	84.14	71.78	94.02	83.89	64.12
Agregados entre 2 y 1 mm, o/o	21.96	10.78	6.20	33.20	10.29	1.76
Agregados entre 1 y 0.5 mm, o/o	8.12	2.57	0.08	12.36	4.07	0.24
Agregados entre 0.5 y 0.25 mm, o/o	4.18	1.27	0.04	1.24	0.41	0.04
Agregados menores de 0.25 mm, o/o	4.74	0.98	0.04	3.14	1.17	0.02
Densidad de partículas, g/ml.	2.68	2.56	2.44	2.68	2.59	2.45
Densidad aparente, g/ml.	1.12	1.00	0.92	1.20	1.05	0.93
Porosidad total, o/o	65.68	60.46	54.14	63.70	59.20	54.40
Límite plástico superior, o/o	65.21	50.99	38.15	55.40	47.55	35.70
Límite plástico inferior, o/o	47.24	35.63	25.83	43.72	34.29	28.73
Índice de plasticidad, o/o	19.76	15.36	11.42	21.20	13.26	5.92
Punto de saturación, o/o	113.96	84.40	40.34	137.82	83.58	63.20
Humedad equivalente, o/o	60.55	41.88	22.56	49.71	37.82	22.92
Retención de Hv. a 0.3 bares, o/o	54.12	43.39	25.02	53.43	42.27	31.20
Retención de Hv. a 0.5 bares, o/o	49.00	34.65	20.58	43.09	34.34	26.78
Retención de Hv. a 1.0 bares, o/o	48.95	32.15	19.35	38.24	31.77	23.83
Retención de Hv. a 5.0 bares, o/o	34.56	25.97	13.57	33.07	26.63	17.90
Retención de Hv. a 10.0 bares, o/o	29.65	22.90	12.71	28.06	22.71	16.74
Retención de HV. a 15.0 bares, o/o	26.69	18.32	11.12	26.37	19.56	14.20
Aireación a 0.3 bares, o/o	31.64	17.07	3.26	32.10	16.92	0.97
Aireación a 15.0 bares, o/o	51.27	43.92	33.63	46.83	39.63	32.69
Materia orgánica, o/o	13.41	5.30	1.48	13.93	3.07	0.32
Agua aprovechable, o/o	36.66	25.07	13.90	35.61	22.70	12.19
Reacción del suelo (pH)	6.50	5.73	5.10	6.60	5.68	5.30

Hv = humedad volumétrica.

En general, se encontró que el contenido de arcillas fué mayor en la segunda capa, debido posiblemente a la iluviación, producto de la elevada precipitación; es decir, se forman horizontes iluviales de acumulación de arcillas. Esta misma tendencia se ha observado en varias investigaciones llevadas a cabo en otros suelos del Departamento de Nariño (Arias y Guerrero, 3; Escobar, Jurado y Guerrero, 10; González, Guerrero y Arias, 15).

Por ser suelos de origen aluvial, con materiales de arrastre y transportados por avenidas de los ríos Telembí y Guaguí, presentan bajos contenidos de la fracción arcilla y altos de arena. Las relaciones estadísticas entre arcillas y densidad aparente y porosidad total deben considerarse como normales (Tabla II). Como el contenido de arcillas en el suelo es bajo, no tiene gran influencia sobre la densidad aparente, lo contrario ocurre para la porosidad total puesto que este parámetro depende tanto de la densidad aparente como de la densidad de las partículas, las cuales a su vez son determinadas por el contenido de los separados del suelo y de la materia orgánica.

#### **B. Agregados estables al agua.**

Es posible que estos suelos ofrezcan condiciones estructurales aceptables que faciliten el desarrollo radical de las plantas, puesto que según criterio de Adames y Levy (1), los agregados mayores de 2 mm. son los determinantes de una mejor formación estructural ya que en promedio las dos capas superan ampliamente el 50% de agregación, valor que se considera como crítico (Tabla I).

El mayor porcentaje de agregación que se presenta en el suelo se puede atribuir a la incidencia de las labores culturales y la cobertura vegetal, especialmente de tipo gramínea. Otra posible causa de la mayor agregación del suelo con respecto al subsuelo estribaría en su mayor contenido de materia orgánica, lo que evidentemente produce un efecto cementante. No puede decirse lo mismo con respecto a las arcillas ya que si bien su efecto es aparentemente contradictorio, debe tenerse en cuenta que los contenidos de la misma son bajos en ambas capas.

#### **C. Densidades y porosidad.**

Los valores de la densidad de partículas pueden considerarse normales, ya que se encuentran dentro del rango usual para suelos minerales de 2.40 a 2.70 g/ml. La razón estriba en el hecho de que los minerales componentes del suelo como cuarzo, feldspatos, ortoclasas, horblenda, etc., se encuentran en aquellos límites; además, algunos de estos minerales se encuentran en diversas proporciones en estos suelos.

Los resultados de la densidad aparente correlacionaron significativamente con la materia orgánica ( $r = -0.837^{**}$ ), lo cual se debe al menor peso por unidad de volumen que poseen los materiales orgánicos. Resalta el hecho que sea la mate-



TABLA II

RELACIONES ENTRE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO Y DEL SUB-SUELO DEL PISO TROPICAL DE BARBACOAS, NARIÑO

Relación	Ecuación de Regresión	Coefficiente de Correlación (r)	Coefficiente de Determinación R (o/o)
SUELO			
Ar - Ag	$Y = 72,81 + 1,129X$	0,17	2,80
Ar - DA	$Y = 0,94 + 0,005X$	0,38	14,40
Ar - Pt	$Y = 82,43 - 2,02X$	0,93**	86,49
MO - LPS	$Y = 40,45 + 1,99X$	0,79**	62,40
MO - LPI	$Y = 26,59 + 1,70X$	0,82**	67,20
MO - DA	$Y = 1,06 - 0,013X$	-0,837**	70,05
MO - Pt	$Y = 56,97 + 0,66X$	0,73 **	54,61
MO - RHo3	$Y = 34,14 + 1,77X$	0,66*	44,35
DA - Pt	$Y = 118,19 - 57,73X$	-0,99**	99,80
DA - AA	$Y = 56,71 - 31,64X$	-0,184	3,38
RHo3 - HE	$Y = 3,38 + 1,04X$	0,775***	60,00
SUB-SUELO			
Ar - Ag	$Y = 78,15 + 0,37X$	0,332	11,00
Ar - LPS	$Y = 40,73 + 0,441X$	0,702**	49,20
Ar - IP	$Y = 7,16 + 0,392X$	0,626**	39,10
MO - DA	$Y = 1,07 - 0,009X$	-0,407	16,56
MO - Pt	$Y = 57,90 + 0,422X$	0,496	24,60
DA - Pt	$Y = 96,21 - 35,25X$	0,95 r**	90,44
DA - EA	$Y = 63,41 - 22,66X$	-0,467	21,80
RHo3 - HE	$Y = -7,63 + 1,14X$	0,842**	70,80

Ar = Arcillas  
 Ag = Agregados mayores de 2 mm.  
 DA = Densidad aparente  
 Pt = Porosidad total  
 MO = Materia Orgánica  
 LPS = Límite plástico superior

IP = Índice de plasticidad  
 LPI = Límite plástico inferior  
 RHo3 = Retención de humedad  
 AA = Agua aprovechable  
 HE = Humedad equivalente  
 EA = Aireación a 0,3 bares

ria orgánica quien fija la magnitud de la densidad aparente, es decir, todo parece indicar que el manejo de estos suelos no ha sido muy intenso.

El mayor valor de la porosidad total en la primera capa era de esperarse debido al mayor contenido de materia orgánica. Esta observación se corrobora al haber encontrado en la primera capa una correlación de  $r=0.73^{**}$  entre estas dos variables. El coeficiente de correlación indica que el incrementar el 10/o el contenido de materia orgánica, el porcentaje de porosidad se aumenta en 0.660/o (Tabla II).

Según las investigaciones de Robinson (18) y Vomocil y Flocker (20), el espacio aéreo influye en la difusividad del aire del suelo y así en la aireación de las raíces. Cuando el espacio aéreo del suelo es menor del 100/o, la difusión de oxígeno es restringida, limitando por lo tanto el crecimiento de las plantas. Esta condición se cumple particularmente en algunos suelos estudiados, teniendo en cuenta la capacidad de campo y el punto de marchitamiento.

No obstante lo anterior, la aireación es deficiente, debido principalmente a la elevada precipitación pluvial, por cuanto la zona estudiada se encuentra en su mayor parte en el bosque muy húmedo tropical, con una zona de transición pertenecientes al bosque pluvial tropical (Erazo, Ortíz y Burbano, 9), lo que hace que el nivel freático sea superficial y se presenten problemas de drenaje y mala aireación.

Los valores de porosidad total indican que los poros no están cerrados, por lo cual el suelo puede absorber y conducir el agua a horizontes inferiores a través de un sistema continuo. Sin embargo, a pesar de los altos contenidos de arena y debido a la elevada precipitación propia del bosque pluvial, se presentan problemas de drenaje, ya que la capacidad de descarga a través de la percolación profunda es insuficiente. Esto se confirma por los valores de porosidad drenable, los cuales son altos, tanto en el suelo como en el subsuelo. Puede concluirse que un suelo aunque presente condiciones físico-mecánicas óptimas, como es el caso presente, puede presentar problemas si no se ayuda al drenaje natural con la instalación de una red de drenes, específicamente en las zonas de alta pluviosidad.

#### D. Plasticidad.

Los valores promedios del índice de plasticidad en las dos capas fueron:  $15.360/o \pm 0.950/o$  y  $13.260/o \pm 4.410/o$  (Tabla I). De acuerdo a los criterios expuestos por Adames y Levy (1), los suelos estudiados, según su plasticidad se pueden clasificar así: No plásticos, 400/o; ligeramente plásticos, 500/o; plásticos, 1000/o, muy plásticos, 000/o. Por lo anterior, se puede decir que alrededor del 900/o de los suelos no presentan problemas para el laboreo agrícola.



Los promedios de los límites plástico superior e inferior presentaron mayores contenidos de humedad en la primera capa. Esta situación está asociada con la presencia de mayor cantidad de materia orgánica en el suelo. El anterior efecto se confirma al encontrar una alta significación entre aquella y el límite plástico superior ( $r=0.79^*$ ) y el límite plástico inferior ( $r=0.82^{**}$ ). (Tabla II).

Como la plasticidad es una función de las fracciones más finas del suelo, éstas poseen diversos grados de plasticidad según la cantidad de arcilla que contienen. Así, el incremento en el porcentaje de arcillas aumenta el índice de plasticidad, como puede observarse en la regresión obtenida entre estas dos variables (Tabla II). Es decir, el contenido de arcillas determina la superficie disponible para la adsorción de agua, regulando en cierto grado el número de películas que contribuyen a la cohesión y plasticidad, aumentando en consecuencia la humedad del suelo.

El alto valor del límite plástico inferior, tanto en el suelo como en el subsuelo, es una característica positiva, pues entre mayor sea el límite plástico inferior, mayor debe ser la recarga pluviométrica para que el suelo alcance su punto de plasticidad. Sin embargo, en el presente caso, esta cualidad se ve enmascarada por la alta pluviosidad de la zona.

#### **E. Capacidad de retención de humedad.**

Los resultados de retención de humedad son considerablemente inferiores a los encontrados en suelos volcánicos de Chile, Nicaragua, Ecuador, Las Antillas y Costa Rica (Alcayaga y Urbina, 2; Besoain, 5; Colmet-Daage, 7; Forsythe, Gавande y González, 12), donde los altos contenidos de retención de humedad se deben posiblemente a los bajos valores de densidad aparente y altos contenidos de materia orgánica, antes que por el mayor grado de estructuración y por ende de agregación. Sin embargo, para suelos no caracterizadamente Andosoles la capacidad de retención de humedad derivada de 0.3 y 15 bares es bastante adecuada, pues supera en ambas capas el 200/o en base volumétrica (Tabla I).

Con respecto a lo tratado anteriormente, los valores de la capacidad de retención de humedad pueden ser ambos mayores si se tienen en cuenta de que en general son suelos de textura franco arenoso lo cual implica que la capacidad de campo de los mismos se encuentra a una succión inferior a 0.3 bares. Sin embargo, igual argumento se puede plantear para el punto de marchitamiento aunque los incrementos para este punto de equilibrio son menores que para una capacidad de campo cuando se toman 0.3 bares y 15 bares.

Como ocurre en la casi totalidad de los análisis de regresión entre la retención de humedad a 0.3 bares y la humedad equivalente, la correlación encontrada fué muy alta, lo cual permitiría establecer una ecuación de carácter empírico aunque de reducido valor práctico, ya que no se puede fijar una tensión para la capacidad de campo (Tabla II).

## F. **Materia orgánica.**

El promedio para la primera capa fué de 5.30o/o<sup>±</sup> 2,83o/o valor que encuadra dentro del rango de 2 a 5o/o y donde se sitúan la mayoría de los suelos cultivados. A su vez el subsuelo presentó un promedio de 3,07o/o<sup>±</sup> 2,80o/o (Tabla I). El mayor contenido de materia orgánica en el suelo se debe a la mayor incorporación de residuos orgánicos en su superficie.

El contenido de materia orgánica, debe interpretarse de acuerdo con la altitud, porque lo normal es que se encuentren contenidos mayores a medida que la temperatura disminuye. Teniendo en cuenta lo anterior, Frye (14), señala que en los suelos de clima cálido, cuando el porcentaje de materia orgánica supera el 3o/o se puede considerar como adecuada. Esta condición o requisito se cumple en los suelos estudiados, posiblemente debido a la alta precipitación pluvial, que trae como consecuencia condiciones de anaerobismo, atenuando la descarboxilación microbiana.

La importancia de la materia orgánica es explicable por el influjo que tiene sobre las propiedades físicas, tal como se ha manifestado a través de la discusión; es decir, influye notoriamente sobre la plasticidad, capacidad de retención de humedad, porosidad y densidad aparente.

## G. **Reacción del suelo**

Los resultados obtenidos sobre el pH se presentan así: el promedio para la primera capa fué de  $5.72 \pm 0.31$ ; para la segunda capa  $5.68 \pm 0.36$  (Tabla I). La reacción del suelo se considera como ácida, debido a la abundante precipitación pluvial de la región ya que los suelos son sometidos a un lavado drástico de sales. No debe olvidarse, sin embargo, que son suelos susceptibles a problemas de mal drenaje, lo cual incidirá en un ascenso del nivel freático que conlleva a un incremento de la concentración salina en las capas superiores en épocas de verano, debido a los procesos de capilaridad y de evaporación. Esto reafirma la necesidad de estudiar la factibilidad técnica y económica de establecer una red de drenes.

## CONCLUSIONES

1. En los suelos estudiados predominan las arenas tanto en el suelo como en el subsuelo. Por su parte, los limos registraron valores intermedios y las arcillas presentan bajos contenidos. En general, sobresalen las texturas tipo franco arenosa.
2. El grado de agregación supera el 50o/o tanto para el suelo como para el subsuelo, lo cual puede ser favorable para el manejo de los suelos.
3. Los resultados obtenidos sobre la densidad aparente se acercan a la unidad y los valores de porosidad total superan el 50o/o.



4. Los valores de porcentaje de espacio aéreo son superiores al 100/o en la mayoría de los suelos estudiados, excepto en tres sitios donde la aireación es deficiente.
5. De acuerdo al índice de plasticidad, el 90o/o de los suelos son en promedio no plásticos ó ligeramente plásticos.
6. Los valores de capacidad de retención de humedad es bastante adecuada, para el tipo de textura predominante en la región que es franco-arenosa puesto que en ambos casos superan el 20o/o de humedad en base volumétrica.
7. El contenido de materia orgánica incide sobre la plasticidad, capacidad de retención de humedad, porosidad total y densidad aparente. Sobre las demás propiedades físicas estadísticamente no se detectó influjo.
8. La reacción del suelo (pH) se considera como ácida debido al lavado a que están sometidos los suelos.

#### BIBLIOGRAFIA

1. ADAMES, J. y LEVY, H.L. Propiedades físicas de algunos suelos del Valle del Cauca. *Acta Agron. (Colombia)* 10(3/4): 213-253. 1960.
2. ALCAYACA, A. y URBINA, D. Relaciones entre algunas características físicas y químicas de suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. *Agricultura Técnica (Chile)* 25(1): 9-18. 1965.
3. ARIAS, H.A. y GUERRERO, R.R. Algunas propiedades físicas de dos suelos derivados de cenizas volcánicas de Pasto, Colombia, determinados por diferentes métodos. *Turrialba* 21(4): 393 - 403. 1971.
4. BAVER, W., GARDNER, L. y GARDNER, W.R. Física de suelos. Trad. del inglés por Jorge Rodríguez. México, UTEHA, 1973. 530 p.
5. BESOAIN, E.M. Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* 18(2): 110 - 165. 1958.
6. BLACK, C.A. et al. *Methods of soil analysis*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. 1965. 1460p.
7. COLMET-DAAGE, F. Naturaleza de la fracción arcillosa de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de las Antillas, Ecuador y Nicaragua. In: *Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina*, Turrialba, Costa Rica, 1969. pp. B.2.1.
8. DULCE, G. y NARVAEZ, N. Nariño, su geografía. Pasto (Colombia), Imprenta Departamental, 1967. 275 p.

9. ERASO, H., ORTIZ, F. y BURBANO, H. Formas de calcio en suelos del piso Tropical de Barbacoas, Colombia. *Anales de Edafología y Agrobiología* 33(9-10): 879-890. 1974.
10. ESCOBAR, G., JURADO, R. y GUERRERO, R. Propiedades físicas de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas del Altiplano de Pasto, Nariño Colombia. *Turrialba* 22(3): 338 - 346. 1972.
11. ESPINEL, T.L. y MONTENEGRO, R. Formaciones vegetales de Colombia. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Bogotá, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", 1963. 201 p.
12. FORSYTHE, W., GAVANDE, S. y GONZALEZ, M. Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas, considerando algunos suelos de América Latina. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América, Turrialba, Costa Rica, 1969. pp. B.3.1.
13. FORSYTHE, W. Manual de Laboratorio de física de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA. 216 p.
14. FRYE, A. El análisis de suelos en la evaluación de su fertilidad para la aplicación de fertilizantes y correctores. In: III Reunión Nacional de Suelos. Ibagué, Colombia, Universidad del Tolima, octubre 29-30, 1969. 29 p.
15. GONZALEZ O., S., GUERRERO R, R. y ARIAS H., A. Propiedades físicas de algunos suelos de la Sabana de Túquerres, Nariño, Colombia. *Revista de Ciencias Agrícolas (Colombia)* 4(2): 39-50. 1972.
16. GONZALEZ M., A. Manual de Laboratorio de Suelos. Palmira, Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias Agropecuarias, 1964. 96 p.
17. MINISTERIO DE MINAS Y PETROLEOS. Laboratorio Nacional de Fomento Minero, Pasto, informe 625: Estudio Geológico del Departamento de Nariño. 1946.
18. ROBINSON, F.E. Required percentage air space for normal growth of sugar cane. *Soil Science* 98: 206-207. 1964.
19. SILVA M, F. Métodos de análisis del Laboratorio de Suelos. Bogotá. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1960. 38 p.
20. VOMOCIL, J.A. y FLOCKER, W. J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers* 4: 242 - 245. 1961.