

PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS SUELOS DE LA SABANA DE TUQUERRES, NARIÑO, COLOMBIA *

Servio González, Ricardo Guerrero ** y Antonio Arias**

1.— INTRODUCCION

Con el conocimiento de las propiedades físicas del suelo, se pueden efectuar labores de gran importancia en forma correcta, entre las cuales están su conservación, riegos y drenajes, adecuadas aplicaciones de fertilizantes y, en general, todas aquellas labores que tienden a mantener el suelo productivo. Con frecuencia, cuando se habla de la productividad de un suelo, sus propiedades físicas son relegadas a un plano secundario, aunque, en realidad, estas inter-actúan con las condiciones químicas constituyéndose, frecuentemente, en factores limitantes de producción.

Teniendo en cuenta que la Sabana de Túquerres es una zona de gran potencial agrícola y pecuario se ha considerado de vital importancia estudiar las propiedades físicas de sus suelos y, de esta manera, contribuir a complementar su caracterización.

II.— REVISION DE LITERATURA

La Sabana de Túquerres se encuentra integrada al Altiplano de Túquerres-Ipiales y está localizada al Sur-Occidente de la República de Colombia, al sur del Departamento de Nariño (27). Pertenece a la zona de transición entre el piso térmico frío y el páramo bajo (7).

La región se encuentra ubicada a 3.000 m.s.n.m., con temperatura que oscila entre 6°C y 11°C durante el día; la precipitación es de 500 a 1.000 mm/año (25).

* Parcial de la Tesis presentada por el primer autor bajo la dirección de los últimos, para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Nariño.

** Profesor Asociado, Departamento de Fitotecnia y Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Agrícola respectivamente. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia.

En general, los suelos de la Sabana de Túquerres son de origen volcánico, con textura gruesa y mediana, alto contenido de materia orgánica, pH ácido, permeabilidad adecuada, aunque en la parte plana, hacia Guachucal, presenta un nivel freático alto (7). El suelo se ha formado sobre una capa de ceniza volcánica de aproximadamente 130 cm. de espesor y color oscuro; las capas subadyacentes son depósitos de arena y arcilla, de colores más claros (25).

Franco (20) afirma que la agregación es una propiedad muy importante de los suelos, ya que su influencia es la absorción de agua, la aireación, la penetración de las raíces, etc., define el comportamiento de los suelos bajo determinadas condiciones de manejo. A su vez, Woodroff, citado por Bastidas y Jácome (3), indica que el tamaño de los agregados está determinado por el gradiente de humedad del suelo, de tal modo que si el agua es removida, debido al desarrollo vegetal, y el gradiente de humedad es alto, el suelo se rompe en pequeñas unidades; por el contrario, donde el agua es removida lentamente, el suelo se rompe en bloques grandes.

Bermúdez, citado por Gavande (21), asegura que la máxima concentración de raíces, especialmente raicillas, está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica y con la porosidad total. El mismo autor afirma que el contenido de agua y la succión del suelo influyen en el espacio poroso lleno de aire, afectando así el estado de aireación de los suelos. La influencia de la succión del suelo en el espacio poroso, puede ser afectada por la compactación y el tamaño de los agregados.

Robinson (30) afirma que del agua que penetra al suelo, parte es retenida en los espacios porosos y parte se percola a profundidades mayores. Es evidente, opina el mismo autor, que los suelos difieren sustancialmente en cuanto a su capacidad de retención de agua, variando de acuerdo a su textura; de este modo, un suelo de arcilla pesada con 10% de humedad puede, aparentemente, estar seco, mientras que un suelo arenoso, con el mismo contenido de humedad, estará aparentemente húmedo. Según Buckman y Brady (6), dos fuerzas influyen en la retención de humedad por los suelos sólidos, la adhesión, que es la atracción de las superficies sólidas por las moléculas de agua y la atracción de las moléculas de agua entre sí, llamada cohesión.

Para Kramer (24) la capacidad de campo es el más alto contenido de humedad del suelo, encontrado bajo condiciones naturales en un suelo con buen drenaje interno y representa la cantidad de agua retenida por el suelo, una vez drenado el exceso por acción de la gravedad. La capacidad de campo se ha designado también como la capacidad normal del campo, capacidad normal de humedad o capacidad capilar. Según González (22), el agua aprovechable es aquella comprendida entre el punto de marchitamiento y la capacidad de campo y es el agua utilizada por las plantas para sus funciones metabólicas. Russell y Russell (31) opinan que el agua aprovechable en un suelo, depende de la cantidad retenida por unidad de volumen del mismo y la profundidad a que las plantas pueden extraerla.

III.— MATERIALES Y METODOS

Se tomaron muestras de 15 sitios de la Sabana de Túquerres, correspondientes a suelo y subsuelo.

Los métodos empleados se reseñan a continuación:

Análisis textural: método de Bouyoucos, siguiendo la técnica descrita por Forsythe (16).

Estabilidad de los agregados al agua: según la técnica descrita por Tiulin y modificada por Yoder (34), empleando el aparato diseñado por Woodruff y adaptado por Adames y Levy (1).

Densidad real: método del balón y kerosene (17).

Densidad aparente: método de la parafina (22).

Límite plástico superior: empleando el aparato de "Casagrande" (5).

Límite plástico inferior: se determinó por el método manual (1).

Coefficiente higroscópico: se siguió el método descrito por González (22).

Punto de marchitamiento: se siguió el método de los platos de presión (22).

Equivalente de humedad: por el método de la centrifugación (22).

Capacidad de campo: se siguió el método de las ollas de presión (13).

Punto de saturación: se determinó mediante la técnica descrita por González (22).

Materia orgánica: se procedió según el método de Walkley-Black (13).

Reacción del suelo: Se obtuvo potenciométricamente usando una mezcla suelo-agua 1:1 (13).

IV.— RESULTADOS Y DISCUSION

Textura.

Los resultados obtenidos, para los diferentes suelos y subsuelos de la Sabana de Túquerres, concuerdan con los obtenidos en otras áreas volcánicas de Nariño (2, 11, 15, 25). Los contenidos de arcilla fueron decididamente bajos, con un promedio de 10,26% en los suelos y de 15,20% en los subsuelos (Tablas I y II). Resulta evidente que

el promedio para los suelos fue menor que en los subsuelos, insinuándose de esta manera un proceso incipiente de iluviación. Una situación similar reportan Escobar y Jurado (15) en suelos del Altiplano de Pasto. Si lo anterior es cierto, cabría afirmar que los suelos estudiados, tienden a mostrar la génesis incipiente de un horizonte B, constituyéndose, así, en suelos del tipo A (B) C.

De otra parte, cabe indicar que, conforme a los resultados obtenidos en suelos volcánicos de diferentes regiones del mundo, y a los valores logrados por Arias y Guerrero (2), en suelos del Altiplano de Pasto, el método de análisis mecánico utilizado en este estudio no consigue una dispersión adecuada, dando lugar a la obtención de resultados poco creíbles.

Al efectuar las correlaciones estadísticas, se encontró una relación inversa y altamente significativa ($r = -0,67++$) (Tabla III) entre el contenido de arcillas y el de materia orgánica en los suelos. Esta asociación (44,89%) resulta sorprendente y sobre ella no se encuentran antecedentes en la literatura disponible. Sin embargo, podría intentarse una explicación, si se tiene en cuenta que en los suelos volcánicos se forman complejos órgano-minerales de difícil dispersión, provocando así, una disminución en la arcilla dispersada en el análisis mecánico. En otras palabras, la dificultad de dispersión antes planteada explicaría esta relación.

Estabilidad de los agregados al agua.

Los suelos estudiados presentan un acentuado predominio de los agregados pequeños, al punto que el promedio obtenido para los agregados menores de 0,25 mm. (29,67%) supera al correspondiente a los agregados mayores de 2 mm. y más del 60% de los agregados estables al agua fue menor de 1 mm. de diámetro, mientras que en los suelos del Altiplano de Pasto (15) solo un 4,0% de los agregados fue de diámetro menor a ese límite.

De acuerdo a lo anterior, cabe concluir que el grado de agregación en los suelos estudiados es acentuadamente inferior al encontrado en sus similares del Altiplano de Pasto (15), y aún del Altiplano de Ipiales (14). Esto conlleva una alta susceptibilidad al deterioro de su agregación y, por ende, de sus condiciones físicas, como también al requerimiento de un manejo cuidadoso, en cuanto a laboreo y prácticas de conservación, para evitarlo. El menor grado de agregación en estos suelos, en comparación al determinado en los suelos de los Altiplanos de Pasto e Ipiales no puede explicarse sobre la base de diferencias entre sus condiciones texturales, de contenido de materia orgánica, ni de valores de pH. Posiblemente la explicación esté en diferencias inherentes a su constitución mineralógica.

Densidades y porosidad.

Los valores de la densidad real obtenidos en este estudio se asimilan a los encontrados en otros suelos del departamento (2, 14, 15) y están dentro de los límites establecidos por Forsythe et al (18), para suelos volcánicos de Latinoamérica.

La densidad aparente de los suelos de la Sabana de Túquerres, coincide con la encontrada en los suelos de los Altiplanos de Pasto (15) e Ipiales (14), pero presenta valores muy superiores a los encontrados en andosoles de otras regiones del mundo, donde ha oscilado entre 0,3 y 1,1 g/ml. (8, 9, 11, 18, 19, 23, 29, 32, 33).

Del análisis estadístico de correlación y regresión, se concluye que el contenido de arcillas incrementó significativamente la densidad aparente de los suelos estudiados ($r = 0,67++$), en razón de que esa misma variable disminuyó la porosidad ($r = -0,50++$) (Tabla III). Estos resultados indican que las arcillas no están jugando un papel significativo sobre la agregación y que, probablemente, un incremento en las arcillas tiende a favorecer el deterioro estructural, en razón de su baja estabilidad.

Los valores de la porosidad (Tablas I y II) son ligeramente superiores a los determinados en suelos del Altiplano de Pasto (15) y muy similares al Altiplano de Ipiales (14). Sin embargo, al ser comparados con los promedios de 60 a 80% de porosidad presentados por la literatura mundial para andosoles típicos (4, 8, 9, 10, 11, 18, 19, 23,

— T A B L A I —

RESULTADOS MAXIMOS, PROMEDIOS Y MINIMOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS ESTUDIADAS (SUELO)

Parámetros	Máximo	Promedio	Mínimo
Materia orgánica %	11,96	6,76	0,56
pH	7,15	5,71	5,30
Arenas %	77,98	56,84	39,64
Limos %	39,00	32,92	18,33
Arcillas %	27,69	10,26	3,12
Agregados mayores de 2 mm. %	58,95	27,98	0,47
Agregados entre 2 y 1 mm. %	23,24	16,78	8,93
Agregados entre 1 y 0,5 mm. %	26,14	15,23	4,80
Agregados entre 0,5 y 0,25 mm. %	18,38	10,34	3,46
Agregados menores de 0,25 mm. %	45,18	29,67	12,19
Densidad real g/ml.	2,77	2,55	2,12
Densidad aparente g/ml.	1,39	1,14	0,83
Porosidad %	64,49	55,17	44,63
Límite plástico superior %	96,46	64,94	41,48
Límite plástico inferior %	69,65	43,45	25,43
Índice de plasticidad %	54,11	21,49	1,42
Coefficiente higroscópico %	11,61	7,20	3,37
Punto de marchitamiento %	46,32	27,48	12,67
Equivalente de humedad %	75,15	41,72	22,62
Capacidad de campo %	76,48	42,70	20,93
Punto de saturación %	97,50	79,71	63,09
Agua aprovechable %	30,16	15,21	8,27

RESULTADOS MAXIMOS, PROMEDIOS Y MINIMOS DE LAS PROPIEDADES FISICAS ESTUDIADAS (SUBSUELO)

Parámetros	Máximo	Promedio	Mínimo
Materia orgánica %	3,22	1,63	0,51
pH	6,55	6,20	5,60
Arenas %	81,86	57,44	32,86
Limos %	47,16	27,36	14,00
Arcillas %	38,36	15,20	2,02
Agregados mayores de 2 mm. %	93,31	38,31	0,80
Agregados entre 2 y 1 mm. %	28,00	10,31	0,22
Agregados entre 0,5 y 0,25 mm. %	26,89	9,32	0,27
Agregados menores de 0,25 mm. %	50,23	28,51	3,78
Densidad real g/ml.	2,75	2,60	2,46
Densidad aparente g/ml.	1,53	1,20	0,88
Porosidad %	67,14	53,78	43,75
Límite plástico superior %	85,66	52,84	36,71
Límite plástico inferior %	51,19	33,40	24,99
Índice de plasticidad %	43,97	19,43	0,53
Coefficiente higroscópico %	16,60	7,25	0,73
Punto de marchitamiento %	58,38	25,49	2,80
Equivalente de humedad %	87,36	41,05	10,33
Capacidad de campo %	76,05	38,75	10,75
Punto de saturación %	90,16	70,34	34,18
Agua aprovechable %	30,13	13,26	4,85

26, 29, 33) son relativamente bajos. En relación a esto, cabe anotar que los suelos estudiados poseen características distintivas de suelos jóvenes con desarrollo muy lento, en razón de la escasa pluviosidad reinante en la región, lo cual seguramente ha limitado la formación de coloides alofánicos, y por tanto, la manifestación de propiedades típicas de los andosoles. Al respecto, Colmet-Daage (12) afirma que en las regiones tropicales la evolución de los suelos sobre cenizas volcánicas está condicionada a la pluviosidad, ya que en aquellos que se mantienen húmedos a lo largo del año predomina la alófana y en aquellos donde la pluviosidad es moderada, con alternancia de períodos secos y húmedos, predomina la formación de halloysita.

Plasticidad.

Cerca del 50% de los suelos estudiados mostraron características decididamente plásticas, lo cual implica que, en estos suelos, se debe tener especial cuidado en lo referente a su laboreo, en el sentido de no trabajarlos a contenidos de humedad cercanos a su límite plástico inferior.

Como era de esperar, la textura estuvo relacionada con los valores de plasticidad. En efecto, un incremento en el contenido de are-

ECUACIONES Y COEFICIENTES DE CORRELACION ESTABLECIDOS (SUELO)

X	Y	Ecuación de regresión	r	r ² —%
Arcillas	Materia orgánica	$Y = 10,04 - 0,32X$	- 0,67++	44,89
pH	Agregados 0,25 mm.	$Y = - 25,65 + 9,69X$	0,50+	25,00
pH	Agregados entre 1 y 2 mm.	$Y = 48,35 - 5,53X$	- 0,64++	40,96
Arcillas	Densidad aparente	$Y = 0,94 + 0,02X$	0,67++	44,89
Arcillas	Porosidad	$Y = 58,86 - 0,43X$	- 0,50+	25,00
Arenas	Límite plástico inferior	$Y = - 8,27 + 0,91X$	0,56+	31,36
Arcillas	Límite plástico inferior	$Y = 57,71 - 1,39X$	- 0,67++	44,89
Porosidad	Límite plástico inferior	$Y = - 48,02 + 1,68X$	0,69++	47,61
Porosidad	Capacidad de campo	$Y = - 30,80 + 1,35X$	0,55+	30,25

** = significativo al nivel del 99%.
* = significativo al nivel del 95%.

na aumentó en forma significativa ($r = 0,56+$) el límite plástico inferior, en tanto que las arcillas lo disminuyeron significativamente ($r + - 0,67++$). Esto se puede interpretar en el sentido de que entre más gruesa es la textura, mayor es la cantidad de humedad necesaria para que el suelo se torne plástico.

De otra parte, la porosidad relacionó positiva y significativamente con el límite plástico inferior ($r = 0,69++$), lo cual implica que entre mejor estructurado esté el suelo, mayor es la necesidad de agua para volverlo plástico. Desde luego, la importancia práctica de esta relación resulta obvia.

Retención de humedad

Los valores para las constantes de humedad (Tablas I y II), son muy similares a los promedios encontrados por Escobar y Jurado (15), pero en ningún caso son comparables a valores tan altos como 150% a 15 atmósferas y de 280% a 1/3 de atmósferas, presentados por Flach (19) y por el Ministerio de Agricultura del Japón (28), ni aun con los valores inferiores a los anteriores de andosoles de diferentes regiones del mundo (4, 8, 10, 23, 32). Desde luego, esta situación está ligada con los valores relativamente altos en la densidad aparente y bajos en la porosidad anteriormente discutidos.

Los valores de porosidad incrementaron significativamente ($r = 0,55++$) la capacidad de campo de los suelos estudiados. Este resultado se explica en razón de que una mejor porosidad está asociada con una mayor estructuración y, por ende, con una mejor capacidad de almacenamiento de agua. Por la misma razón, las correlaciones entre densidad aparente, capacidad de campo ($r = - 0,56+$) y punto de marchitamiento ($r = - 0,67++$) fueron significativas e inversas.

De otra parte, las correlaciones entre capacidad de campo y humedad equivalente fueron altamente significativas, tanto en suelos ($r = 0,93++$) como en subsuelos ($r = 0,81++$), lo cual indica que, para fines prácticos, cualquiera de los dos métodos puede utilizarse en la evaluación de la capacidad de campo. Otros autores han encontrado relaciones semejantes en suelos del Altiplano de Pasto (2, 15).

V.— CONCLUSIONES

1. La textura, determinada por la metodología usual, resultó predominantemente mediana.

2. El grado de agregación resultó acentuadamente inferior al encontrado en suelos similares de Nariño. Su estabilidad es baja.

3. Los valores promedios de densidad aparente resultaron muy altos (1,14 g/ml) y su porosidad muy baja (55, 17%), en comparación a los andosoles típicos de otras regiones del mundo.

4. Un 50% de los suelos estudiados resultó con características decididamente plásticas, en tanto que un 26% no presentaron esta cualidad.

5. La capacidad de retención de humedad se asimila a la determinada en otros suelos volcánicos de la región andina nariñense, pero es acentuadamente inferior a la estipulada en la definición modal de andosol.

6. La estructuración del suelo, reflejada en su porosidad, incrementó la capacidad de almacenamiento de agua y atenuó su plasticidad.

7. En general, los suelos presentaron buenas condiciones físicas, excepto la escasa estabilidad de sus agregados que exige extremar los cuidados para su conservación.

VI.— RESUMEN

En suelos de la Sabana de Túquerres, situada al Suroccidente de la República de Colombia, en el Departamento de Nariño; se determinaron los siguientes parámetros físicos: textura, densidad aparente y real, porosidad, estabilidad de los agregados al agua, plasticidad y retención de humedad.

Los suelos estudiados presentan una textura mediana y estabilidad de agregados relativamente baja. Los valores de densidad aparente son muy altos y los de porosidad y retención de humedad relativamente bajos, en comparación a los presentados para andosoles típicos. Un 50% de los suelos mostraron características decididamente plásticas. En general, las condiciones físicas son buenas, exceptuando su escasa estabilidad, lo cual hace sugerir un manejo cuidadoso para evitar su deterioro.

VII.— SUMMARY

PHYSICAL PROPERTIES OF SOME SOILS FROM TUQUERRES PLATEAU, NARIÑO, COLOMBIA

This study was carried out in soils from Túquerres Plateau, SW, of Colombia, Department of Nariño, with the purpose of determining these physical parameters; texture, bulk and real density, porosity, stability of aggregates, plasticity and moisture retention.

The studied soils show a loamy texture and a relatively low stability of aggregates. Bulk density values are very high and those from porosity and moisture retention were relatively low, compared with those from typical andosols. About a 50% of the soils showed definite plastic characteristics. In general, their physical characteristics are good, excepting their low stability, which allows one to suggest a careful soil management to avoid any degradation.

VIII.— BIBLIOGRAFIA

1. ADAMES, J. y L. N. LEVY.— Propiedades físicas de algunos suelos del Valle del Cauca. Tesis Ing. Agr. Palmira, Colombia, Universidad Nacional, Facultad de Agronomía, 1960. 62 p.
2. ARIAS, H. A. y R. R. GUERRERO.— Algunas propiedades físicas en dos suelos derivados de cenizas volcánicas por varios métodos y combinaciones de los mismos en el Municipio de Pasto. Tesis Prom. Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, 1970. 54 p.
3. BASTIDAS, A. y A. M. JACOME.— Propiedades físicas de los suelos del Valle de Sibundoy, Putumayo. Tesis Ing. Agr., Pasto, Colombia, Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, 1969. 154 p.
4. BESOAIN, E.— Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* **18**: 110-165. 1958.
5. BODMAN, C. B.— Method of measuring soil consistency. *Soil Science* **68**: 37-56. 1949.
6. BUCKMAN, H. O. y N. C. BRADY.— Naturaleza y propiedades de los suelos. Trad. R. Salord Barceló. México, Edit. Hispano Americana, 1.965. 509 p.
7. CERON, E.— Plan de crédito supervisado para la zona de Túquerres e Ipiiales. Pasto, Colombia, INCORA, 1968. 120 p. (mimeografiado).
8. COLMET-DAAGE, F.— Etudes preliminaires de sols des regions bannanieres d'Equateur. *Fruit (France)* **17**: 3-21. 1962.
9. COLMEE-DAAGE, F. y E. CUCALON.— Caracteres hydriques de certain sols des regions bannanieres d'Equateur. *Fruit* **20**: 19-23. 1965.
10. COLMET-DAAGE, F. et al.— Caracterisques de quelques sols d-rives de cendres volcaniques de la cote pacifique du Nicaragua. ORSTON. 1968. "s.p." (mimeografiado).
11. ————. — Caracteristiques de quelques sols d'Equateur dérives de cendres volcaniques. 1ere partie. Essai de caractérisation de sols regions tropicales humedes *Cahier. ORSTON. Serie Pédologie, V. 1.* 1968. "s.p."
12. ————. — Naturaleza de la fracción arcillosa de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de las Antillas. El Ecuador y Nicaragua. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA. 1969. "p. irr."
13. COLOMBIA. INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI.— Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá, Colombia, 1960. 50 p. (Publicación I/TG).
14. DULCE, A. J. y M. SANTACRUZ.— Propiedades físicas de algunos suelos volcánicos del Altiplano de Ipiiales, Nariño, Colombia. Tesis Ing. Agr. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, 1971. 57 p.
15. ESCOBAR, G. y R. JURADO.— Propiedades físicas de algunos suelos del Municipio de Pasto. Tesis Ing. Agr. Universidad de Nariño, Instituto Tecnológico Agrícola, Pasto, 1969. 81 p.
16. FORSYTHE, W.— Análisis de las partículas de los suelos. Método del hidrómetro. Curso de Física de Suelos, experimento 6. IICA, Turrialba, Costa Rica, 1967. "s.p." (mimeografiado).
17. FORSYTHE, W.— Densidad de las partículas del suelo; método con agua y kerosene. Curso de física de suelos. Experimento 1. IICA, Turrialba, Costa Rica, 1967. "s.p." (mimeografiado).
18. FORSYTHE, W. et al.— Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas considerando algunos suelos de América Latina. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. "p. irr."
19. FLACH, K.— Genesis and morphology of ash derived soils in the United States of America. In FAO Report 14 on meeting on clasification and correlation of soils from volcanic ash, Tokyo, Japan, pp. 61-70.
20. FRANCO, F. H.— Comparación de algunos métodos para determinar la estabilidad de los agregados al agua. Tesis. Ing. Agr. Palmira, Colombia, Universidad Nacional Facultad de Agronomía, 1965. 51 p.
21. GAVANDE, S. A.— Influencia de la succión del suelo en la porosidad de aireación y en la difusión del oxígeno en el café cultivado en suelos de Costa Rica. Turrialba, Costa Rica, IICA, **19**: 39-49. 1969.
22. GONZALEZ, M. A.— Manual de laboratorio de suelos. Palmira, Colombia, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 1964. 96 p.
23. KNOX, E. G. y F. MALDONADO.— Suelos de cenizas volcánicas, excursión al Volcán Irazú. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. "p. irr."
24. KRAMER, P. J.— Plant and soil water relationship. New York, McGraw-Hill, 1949. 347 p.
25. LUNA, C.— Aspectos genéticos de andosoles de Colombia. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. "p. irr."
26. MARTINI, J.— Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica. In Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1969. "p. irr."
27. MINISTERIO DE TRABAJO.— Atlas de Nariño. Bogotá, Arco, 1959. 34 p.
28. MINISTRY OF AGRICULTURE AND FORESTRY, JAPANESE GOVERNMENT.— Volcanic ash soils in Japan. Tokyo, Min. of Agr. Forest, 1964. 211 p.
29. PALENCIA, O. J.— Caracterización de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central. Tesis M. Sc. IICA, Turrialba, Costa Rica, 1969. 168 p.