



EVALUACIÓN SITIO-ESPECÍFICO DE CALIDAD FUNCIONAL DEL SUELO EN ZONA DE LADERA

Luz Lince ✉, **Franco Obando**

Universidad de Caldas
departamento de
desarrollo rural y recursos
naturales

✉: adrilince@gmail.com

Palabras clave: salud del
suelo, fertilidad del suelo
(FCC), levantamientos
agrológicos

RESUMEN

Se realizó la evaluación de calidad funcional de ocho unidades edáficas de la granja experimental Tesorito de la Universidad de Caldas con base en el levantamiento sitio-específico de suelos escala 1:2000. Se hizo el análisis espacial de un índice acumulativo de calidad del suelo (IACS) y la clasificación de la capacidad inherente de fertilidad (FCC) con base en la valoración cuantitativa de 22 atributos del suelo según el grado de limitación para el ejercicio de funciones productivas y ambientales en el marco de agroecosistemas locales. El análisis de datos por medio del IACS y los criterios del sistema FCC permitieron visualizar que la calidad funcional del suelo está limitada a los minerales amorfos y el nivel de los nutrientes, dentro de estos últimos, según el IACS, el contenido de Mg afectan muy fuertemente los contenidos de Ca, K, P y el pH; moderadamente la consistencia, textura, agua disponible, índice de erodabilidad, pendiente del terreno y contenido de materia orgánica (MO); ligeramente la profundidad fisiológica, morfología del suelo, diámetro medio ponderado de agregados estables al agua, fragmentos gruesos en superficie, conductividad hidráulica saturada y capacidad de intercambio catiónico. Densidad aparente, capacidad de almacenamiento de agua, saturación de acidez intercambiable y cobertura vegetal no limitan la calidad funcional del suelo. La metodología propuesta permitió la integración de ocho unidades edáficas coropléticas convencionales en dos unidades de calidad funcional del suelo.

SITE-SPECIFIC ASSESSMENT OF FUNCTIONAL SOIL QUALITY IN HILLSIDE AREA

ABSTRACT

Key words: Soil Health,
Soil Fertility (FCC),
Agronomic Surveys

**SUELOS
ECUATORIALES**
43 (1): 17-23

ISSN 0562-5351

The evaluation of functional quality of eight soil units Tesorito experimental farm of the University of Caldas was made based on the survey site-specific soil 1:2000 scale. Spatial analysis of a cumulative index of soil quality (IACS) was based on the classification of the inherent capacity of fertility (FCC) and the quantitative assessment of 22 soil attributes as the degree of constraint on the exercise of functions environmental and productive in the context of local agroecosystems. Data analysis by the IACS system and criteria that the FCC allowed us to visualize functional quality is limited by soil nutrients, which the IACS strongly affect the content of Mg, strongly contents of Ca, K, P and pH, moderately consistency, texture, available water, erodibility index, slope and content of organic matter (MO), slightly physiological deep, soil morphology, mean weight diameter of water stable aggregates, coarse fragments on surface, saturated hydraulic conductivity and cation-exchange capacity. Bulk density, water storage capacity, exchangeable acidity saturation and vegetation do not limit the functional quality of the soil.

INTRODUCCIÓN

La calidad del suelo (CS) es la capacidad funcional de un tipo específico de suelo, para sustentar la productividad animal o vegetal, mantener o mejorar la calidad del agua y el aire, y sostener el asentamiento y salud humana, con límites ecosistémicos naturales o determinados por el manejo (Karlen 1997), cuyo conocimiento, como lo propone Lal (1994), da una visión de las potencialidades del suelo para planificaciones futuras y el manejo más adecuado para los sistemas actuales. Entre las propuestas para clasificar dicha calidad, se encuentran las realizadas por Lal (1994) y Sánchez et al. (2003), por medio de las cuales se pueden conocer las potencialidades y los limitantes de la fertilidad del suelo. Sánchez et al. (2003), proponen para llegar a la clasificación de la capacidad inherente de fertilidad (FCC) dos niveles categóricos: (i) tipo y sustrato que se representan por una letra mayúscula y (ii) modificadores, conformado por 17 atributos, identificados por letras minúsculas, que incluyen propiedades físicas, químicas, biológicas y mineralógicas, que tienen un efecto directo en el manejo de la fertilidad del suelo. La FCC ha sido de amplia aplicación mundial, en estudios a gran escala a lo largo de 25 años, con el fin de relacionar la taxonomía de suelos con otros atributos del mismo, que influyen de forma relevante en el desarrollo de los cultivos (Buol et al., 1975; Buol y Couto, 1981; Sánchez y Buol 1985). Sánchez et al. (2003) menciona entre algunos países que han adoptado la clasificación FCC a Venezuela, Taiwán, Los Estados Unidos, Tailandia, Indonesia, Perú y Camboya. En el departamento de Caldas los estudios de calidad del suelo son escasos; se destacan los estudios realizados por Matta y Rodríguez (2005) y por Obando y Montes (2007). El presente estudio se llevó a cabo en el marco del proyecto “*Desarrollo de indicadores de calidad del suelo en zona de ladera. Referencia: pisos Montano Bajo y Tropical del Departamento de Caldas*” financiado por Colciencias. Se presentan resultados de la aplicación de dos metodologías de evaluación de calidad del suelo (IACS y FCC) a la Granja Tesorito de la Universidad de Caldas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la granja experimental “Tesorito” propiedad de la Universidad de Caldas, ubicada en el flanco

occidental de la cordillera central colombiana, en el municipio de Manizales (Caldas), en un área de 72 ha, a una altitud entre 2230 y 2560 m, temperatura media de 17°C, humedad relativa media de 84,21%, precipitación media anual de 1900 mm, topografía ondulada y quebrada, con un predominio de pendientes entre 15 y 50 %. El contenido pedológico está conformado por ocho unidades *Aquic Melanudands*, *Aquic Udifluvents*, *Typic Fulvudands*, *Typic Hapludands*, *Typic Placidands*, *Typic Udivitrands*, *Vitric Hapludands* y *Vitric melanudands* delineadas y descritas por Betancur y Trejos (2004) las cuales se llevaron a nivel de familia con clases textural, mineralógica de arcillas y temperatura del suelo, según los parámetros establecidos por Soil Taxonomy (1999), además se asignó denominación de consociación a cada unidad.

En el análisis de (CS) se modificó de la propuesta de Lal (1994), al incluir 22 indicadores y valores de peso. Estos últimos fueron asignados según el grado de limitante que ofreciera al adecuado desarrollo de los cultivos: (i) “1” corresponde a los indicadores que por sus características, limitan muy fuertemente la CS, (ii) “2” aquellos, que por sus características, limitan fuertemente la CS, (iii) “3” corresponde a una limitación moderada (iv) “4” corresponde a limitación ligera, y (v) “5” expresa ninguna limitación; el grado de afectación de cada indicador se estableció según las clasificaciones sugeridas por Lal (1994) e ICA (1992) (tabla 1).

Tabla 1. Valores de peso para los Indicadores de calidad del suelo. (Basado en ICA 1992 y Lal 1994).

Grado de limitación		Ninguna	Ligera	Moderada	Fuerte	Muy fuerte
Peso del factor		5	4	3	2	1
pH (1:1 en H ₂ O)		6,01 – 7,00	5,81 – 6,0 7,01 – 7,40	5,41– 5,80 5,41–7,80	5,01 – 5,40 7,81 – 8,20	< 5,00 > 8,21
MO “%”		> 10	8,33 – 10	6,67 – 8,33	5,00 – 6,67	< 5,00
P “mgKg ⁻¹ ”		>40	31,7 – 40	23,3 – 31,7	15,00 – 23,30	<15
K “cmol+Kg ⁻¹ ”		> 0,41	0,34 – 0,40	0,28 – 0,33	0,21 – 0,27	< 0,20
Ca “cmol+Kg ⁻¹ ”		> 6,1	5,1 – 6,0	4,1 – 5,0	3,1 – 4,0	< 3,0
Mg “cmol+Kg ⁻¹ ”		> 2,51	2,17 – 2,50	1,84 – 2,16	1,51 – 1,83	< 1,5
Tasa de Absorción de Sodio		< 10	10,1 – 12	12,1 – 15	15,1 – 20	> 20,1
C.I.C “cmol+Kg ⁻¹ ”		>20,1	16,1 – 20	13,1 – 16	10,1 – 13	< 10
S.A.I “%”		<15	15 – 30	30 – 45	45 – 60	>60
Densidad a.	Textura liviana	< 1.30	1.31 – 1.40	1.41 – 1.50	1.51 – 1.60	> 1.61
	Textura pesada	< 1.2.0	1.21 – 1.30	1.31 – 1.40	1.41 – 1.50	> 1.51
DPM “mm”		> 2.51	2.01 – 2.50	1.01 – 2.00	0.51 – 1.00	< 0.5
Estructura		Blosubangular fuertes a migajosos (Bsfm)	Bloques subangular (Bs)	Bloques subangularamoderados (Bsm)	Bloques subangulares débiles (Bsd)	Masiva c apedal (M, A)
Consistencia		Suelta (S)	Muy Friable (Mfr)	Friable (F)	Dura (D)	Ext. dura (Ed)
Textura		F	FL, FARL	Far, FA	ArL, AF	ArA
Fragmentos gruesos en superficie “%”		< 10,0	10,1 – 20,0	20,1 – 40,0	40,1 – 60,0	> 60,1
Agua Disponible “%”		> 20,1	18,1 – 20,0	15,1 – 18,0	10,1 – 15,0	< 10,0
Capacidad de almacén de Agua “%”		> 30,1	20,1 – 30,0	8,1 – 20,0	2,1 – 8,0	< 2,0
Conductividad Hidráulica Saturada “cm/h”		5,10 – 18,00	1,61 – 5,00	0,51 – 1,60	0,11 – 0,50	< 0,1 >18,1
Índice de Erodabilidad “K” (t.ha.h/ha.MJ.mm)		< 0,017	0,033 – 0,018	0,034 – 0,069	0,070 – 0,103	>0,1031
Morfométrico (%)		0 – 15	16 – 30	31 - 50	51 – 100	>100
Profundidad de raíces “cm”		> 150.10 cm	100.1 – 150.00	50.1 – 100.00	25.1 – 50.00	< 25.00

Los indicadores de las ocho unidades edáficas coropléticas, fueron muestreados y analizados por los métodos que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Métodos utilizados para la caracterización de los indicadores de sostenibilidad del suelo.

Indicador	Método de utilizado
Profundidad fisiológica de raíces (Pfr)	Medición en calicatas con cinta métrica
Densidad aparente (Da)	Método del cilindro. (Coile 1936)
Estructura del suelo. Evaluación Morfología (Esm)	Clasificación de macroestructura según el Soil Survey Manual del U.S.D.A (1951)
Estructura del suelo. Evaluación cuantitativa DPM (Esc)	Método de tamizado en húmedo o de Tiulin (1928) Modificado por Yoder (1936) y Kemper (1965)
Consistencia (Con)	Consistencia en húmedo. USDA (1951)
Textura (Te)	Método de la pipeta y dispersión con base en sodio
Fragmentos gruesos en superficie (Fgs)	Tamizado mecánico húmedo. (Tamiz N° 10)
Agua Disponible (Ad)	Calculado. (Cavazos y Rodríguez, 1992)
Capacidad almacén de Agua (Cas)	contenido de agua a saturación
Conductividad Hidráulica Sat. (Chs)	Permeámetro de cabeza constante
Ca, Mg, K, Na	Acetato de amonio 1 normal y neutro. IGAC
pH	1:1 en H ₂ O. Potenciómetro. IGAC
CIC	Acetato de amonio 1 normal y neutro. IGAC
SAI	Calculado. IGAC
MO total	Calculado(Thompson y Troeh 1988)
P	Bray II. IGAC
Morfométrico (Mor)	Mapa en ArcGis, clasificado según Suarez (1998)
Porcentaje de cobertura vegetal (Pcv)	Polígonos en campo, georreferenciados con GPS
Índice de erodabilidad (Ie)	Ecuación suelos volcánicos (El-Swaify y Dangler, 1976)

La evaluación de la CS, se realizó de forma individual para cada unidad edáfica y como índice global para la totalidad de la granja. El primero se basó en un índice de valor acumulado, que tiene como objetivo reflejar el grado de CS y se calculó con base en la suma, no ponderada, de los 22 indicadores

del suelo, con la herramienta suma de mapas en ArcGis; para la clasificación se emplearon 5 categorías de índice de calidad (IACS) (tabla 3), logrados por la adaptación a la propuesta de tasa acumulativa de indicadores para calidad de Lal (1994).

Tabla 1. Índice acumulativo de Indicadores para fijar la calidad del suelo para uso agrícola. Adaptado de Lal (1994).

Índice de calidad del suelo (IC) para uso agrícola	Índice acumulado de indicadores (en términos de suma)	Índice acumulado de indicadores (en %)
Muy Alta – 5	> 96,0	> 87,0
Alta – 4	95,9 – 72,0	86,9 – 65,0
Media – 3	71,9 – 60,0	64,9 – 54,0
Baja – 2	59,9 – 48,1	53,9 – 44,1
Muy Baja – 1	< 48,0	< 44

La segunda evaluación correspondiente al índice global realizada por medio de una ponderación de los valores de peso de cada uno de los 22 indicadores, según el área de la unidad edáfica, al aplicar la siguiente ecuación:

$$VPIG = \sum_{i=1}^n \frac{(\% AU_i) \times VPI_i}{100}$$

$$VGITG_1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\% AU_i \times VPI_i}{100} \right) + \dots + \left(\frac{\% AU_n \times VPI_n}{100} \right)$$

$$VGITG_{22} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\% AU_i \times VPI_{22}}{100} \right) + \dots + \left(\frac{\% AU_n \times VPI_{22}}{100} \right)$$

Donde: *i* = es i-ésima unidad de suelo; *n* = total de unidades del suelo; *VPITG₁*: Valor de peso del indicador “1” para la totalidad de la granja; *VPITG₂₂*: Valor de peso del indicador “22” para la totalidad de la granja; %*A_{u_i}*: porcentaje areal de la unidad edáfica 1; %*A_{u₈}*: porcentaje areal de la unidad edáfica 8; *VPI₁*: Valor de peso para el indicador 1; *VPI₂₂*: valor de peso para el indicador 22. Los resultados de los valores de peso se presentaron de forma gráfica mediante un radiograma, con los valores relativos al punto central y el índice global para la calidad de los suelos se muestra por medio de un mapa logrado en ArcGis. Para la clasificación de la capacidad inherente de fertilidad (FCC), se sometió cada unidad edáfica coroplética a la evaluación y asignación de niveles, tal como lo proponen Sánchez et al. (2003).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 4 se presentan las familias en las cuales se ubicaron las ocho unidades edáficas y la consociación a la cual se asociaron.

Tabla 4. Unidades cartográficas a nivel de familia y consociación.

Unidad cartográfica a nivel de familia	Consociación
<i>Typic Fulvudands, Arenoso sobre pomáceo, rihidráulica, Isotérmico</i>	<i>Tablemac (TA)</i>
<i>Typic Udivitrands, Arenoso sobre pomáceo, Ferrihidráulica, Isotérmico</i>	<i>Tesorito (TE)</i>
<i>Typic Hapludands, Arenoso sobre pomáceo, Ferrihidráulica, Isotérmico</i>	<i>Eucalipto (EU)</i>
<i>Vitric Melanudands, Arenoso sobre pomáceo, Ferrihidráulica, Isotérmico</i>	<i>Agroforestal (AG)</i>
<i>Vitric Hapludands, Arenoso sobre pomáceo, Ferrihidráulica, Isotérmico</i>	<i>Gasoducto (GA)</i>
<i>Aquic Melanudands, Francosa, Mezclada, Isotérmico</i>	<i>Ojo de agua (OJ)</i>
<i>Aquic Udifluvents, Francosa, Mezclado, Isotérmico</i>	<i>Vega (VE)</i>
<i>Typic Placudands, Arenoso, Ferrihidráulica, Isotérmico.</i>	<i>Arboloco (AR)</i>

Los valores obtenidos en el laboratorio o en campo para cada uno de los indicadores y su respectiva clasificación, según el grado de limitación que ofrece a la CS, se muestran en las tablas 5.

En la figura 1 se observa, entre otros, la distribución de los nutrientes (Ca, Mg, K, P) y su grado de interferencia en la FCC, se destaca que

ninguna de las unidades edáficas presentó un radiograma completo, sin embargo se estableció que las consociaciones TA y OJ, no presentan limitante

por bajo contenido de nutrientes, debido a que la primera sólo presenta bajo contenido de Mg y la segunda bajo contenidos de P.

Tabla 5. Valor de los indicadores para cada consociación

Unidad cartográfica a nivel de familia	Consociación
<i>Typic Fulvudands</i> , Arenoso sobre pomáceo, Ferrihidrítica, Isotérmico	Tablemac (TA)
<i>Typic Udivitrands</i> , Arenoso sobre pomáceo, Ferrihidrítica, Isotérmico	Tesorito (TE)
<i>Typic Hapludands</i> , Arenoso sobre pomáceo, Ferrihidrítica, Isotérmico	Eucalipto (EU)
<i>Vitric Melanudands</i> , Arenoso sobre pomáceo, Ferrihidrítica, Isotérmico	Agroforestal (AG)
<i>Vitric Hapludands</i> , Arenoso sobre pomáceo, Ferrihidrítica, Isotérmico	Gasoducto (GA)
<i>Aquic Melanudands</i> , Francosa, Mezclada, Isotérmico	Ojo de agua (OJ)
<i>Aquic Udifluvents</i> , Francosa, Mezclado, Isotérmico	Vega (VE)
<i>Typic Placudands</i> , Arenoso, Ferrihidrítica, Isotérmico.	Arboloco (AR)

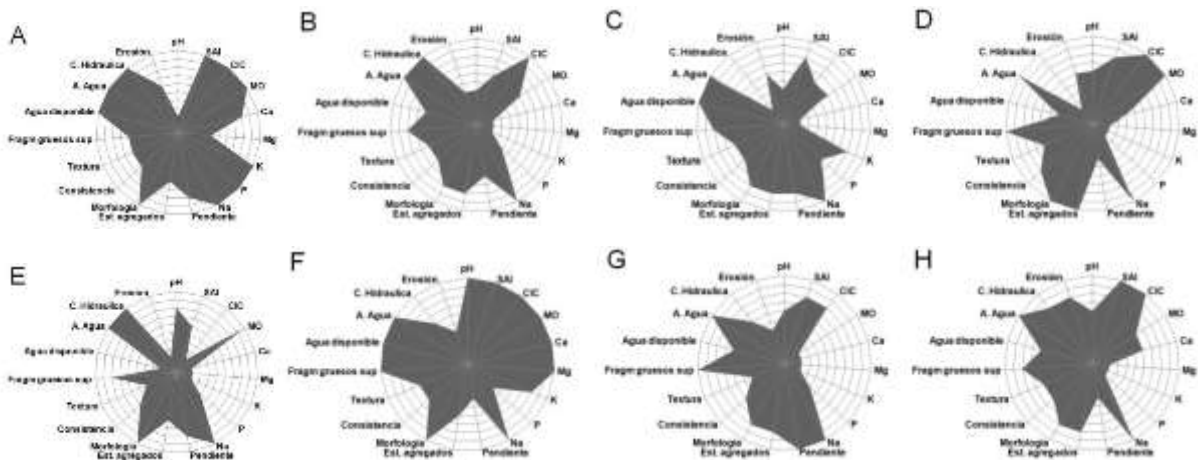


Figura 1. Atributos del suelo, según su interferencia en la fertilidad inherente. (A)TA; (B)TE; (C)EU; (D)AG; (E)GA; (F)OJ; (G)VE; (H)AR.

El análisis de los datos mencionados, indicó que siete de las ocho unidades edáficas de la granja Tesorito presentan IACS alta (4) y la unidad restante IC media (3), las cuales al ordenarlas de forma descendente se tienen: OJ (88); TA (79); EU (79); AG (77); AR (76); VE (74); TE (74); GA (72). El análisis de datos por medio de redegramas y la ponderación de los indicadores, respecto al área de cada consociación, permitieron visualizar que el IACS está limitada en nivel 1 por el contenido de Mg; nivel 2 por los contenidos de Ca, K, P y pH; nivel 3 por la consistencia, textura, agua disponible, índice de erodabilidad, pendiente del terreno y contenido de materia orgánica; ligeramente por la profundidad fisiológica, morfología del suelo, diámetro medio ponderado de agregados estables al agua, fragmentos

gruesos en superficie, conductividad hidráulica saturada y capacidad de intercambio catiónico. Densidad aparente, capacidad de almacenamiento de agua, saturación de acidez intercambiable, tasa de absorción de Na y cobertura vegetal no limitan la calidad funcional del suelo. El índice global indicó que la granja Tesorito presenta dos clases determinantes de calidad de suelo, una alta (nivel 4) que ocupa el 85,71 %, y media (nivel 3) el 14,29 % restante; la primera comprende las zonas donde están establecidos los frutales, parte de la granja integral y áreas de pastoreo; los suelos de clase media corresponde a los lotes donde actualmente están establecidos los cultivos de hortalizas, el cerro que delimita la granja en su extremo sur este, un lote en la parte sur oeste cuyo uso es pastoreo (figura 2a).

En el análisis de FCC se encontró que el descriptor textura corresponde en su mayoría a arenas (S) y el descriptor pendiente varía entre 0 y > 30%, en cuanto a los modificadores se determinó que tanto los minerales amorfos (x) como la baja reserva de nutrientes (k) son los atributos que limita la calidad de la granja Tesorito. Para cada una de las consociaciones se tiene: i)TA: S15-30%*x*; ii) TE:S>30%*kx*; iii) EU:S15-30%*x*; iv) AG: S>30%*kx*; v) GA: SL15-30%*kx*; vi) OJ: SL>30%*x*; vii) VE: S0-15%*kx* y viii) AR: S>30%*kx*. En términos generales con la FCC se encontró que el 100 % del área de la granja Tesorito está afectada por los minerales amorfos y el 18% por los bajos contenidos en Ca, Mg, K y P. Los atributos físicos no limitantes se atribuyen a las características ándicas de los suelos (figura 2B).

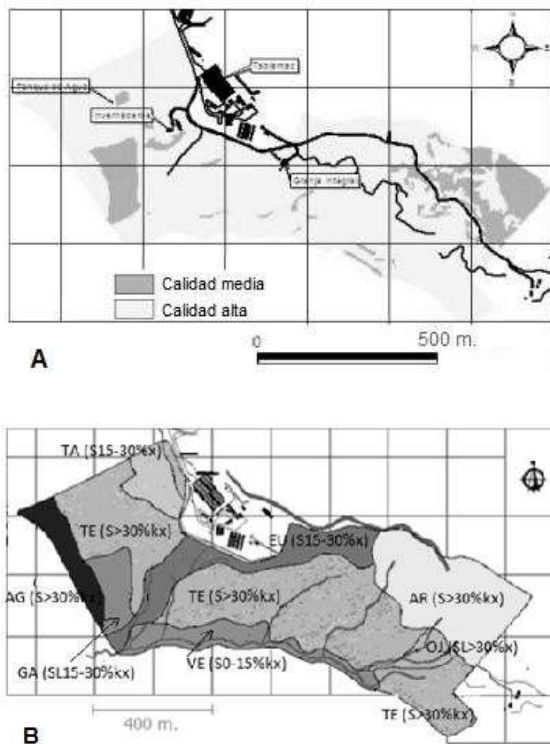


Figura 2. (A). Mapa de calidad del suelo para la granja experimental Tesorito. (B) Mapa de unidades edáficas con la clasificación FCC para la granja Tesorito

CONCLUSIONES

Se concluye que la metodología propuesta del índice acumulado de calidad del suelo (IACS) y el sistema FCC son herramientas promisorias para la evaluación sitio-específico de calidad y fertilidad del suelo en agroecosistemas en zona de ladera.

BIBLIOGRAFÍA

- BETANCUR, J.H. TREJOS, G. A (2004). Mineralogía y micromorfología de suelos de ladera sitios de referencia: granjas Montelindo, Tesorito y La Cruz. Manizales Universidad de Caldas.
- BUOL, S.W., COUTO, W (1981). Soil fertility capability assessment for use in the humid tropics. *En: Greenland, D.J. (Ed.), Characterization of Soils in Relation to their Management for Crop Production: Examples from the Humid Tropics.* Clarendon Press, London, pp. 254– 261.
- BUOL, S.W.; SANCHEZ, P.A.; CATE, R.B.; GRANGER, M.A. (1975) Soil fertility capability classification: a technical soil classification system for fertility management. *En: Bornemisza, E. and Alvarado A. (Ed.) Soil Management in Tropical America.* N.C. State Univ., Raleigh, NC: 126-145.
- COILE, T.S. (1936). Soil saraplers. *Soil Sci.* 42:139-141.
- EL-SWAIFY, S.A., DANGLER, E.W. (1976). Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. *Soil Erosion: Prediction and Control.* Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa: 105-114.
- INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO ICA. (1992). Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación manual de asistencia técnica 64 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (2004). Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras de Caldas. memoria técnica, acompañada de cartografía temática a escala 1:200.000. Bogotá, Colombia.
- KARLEN, D.L. (1997). Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. *Soil sci. Soc Am J.* 61:4-10.
- LAL, R. (1994). Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics. USDA. SMSS Technical Monograph N° 21. The Ohio State University, Columbus.
- MATTA, A., RODRÍGUEZ, M. (2005). Indicadores de sostenibilidad de uso de la tierra y variabilidad especial de producción de lechuga en el Municipio de Villamaría, Caldas. Trabajo de grado para optar al título de I.A. Universidad de Caldas
- OBANDO, F.H., MONTES, J.M. (2007). Indicadores de calidad del Suelos y Funciones de Transferencia Pedológica en Sistemas de Producción de Mora en el Departamento de Caldas. *Suelos Ecuatoriales* 37(1):1 01-109.

- SANCHEZ, P.A., BUOL, S.W. (1985). Agronomic taxonomy for wetland soils. *Wetland Soils: Characterization, classification and Utilization*. International Rice Research Institute, Manila, pp. 207– 227.
- SANCHEZ, P.A., PALM, C.A., BUOL, S.W. (2003). Fertility Capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114,157-185.
- SOIL SURVEY STAFF (1999), *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, 2^ª edition, 870 pp.
- SUAREZ, J. (1998). *Deslizamientos Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales*. Editorial Universidad Industrial de Santander, UIS. Páginas 548.
- THOMPSON, T. (1988). *Soils and soil fertility*. Edition: 4 Editorial Reverté. 672 p.