

Variación del carbono orgánico en función de la altitud. Cuenca del río Santo Domingo. Mérida-Barinas, Venezuela

Organic carbon variation in relation with altitude in the Santo Domingo river basin, Mérida and Barinas states, Venezuela

Guido Ochoa, Jajaira Oballos, Jesús Sánchez, José Sosa, Jorge Manrique y Juan C. Velásquez*

Recibido: abril, 1999 / Aceptado: diciembre, 1999

Resumen

El análisis estadístico de los datos provenientes de la descripción de los suelos de la cuenca del río Santo Domingo, muestra que el comportamiento del carbono orgánico está relacionado significativamente con la CIC, la altitud, el calcio, el aluminio cambiante y el limo. Estas características explican el 73 % de la variación del mismo. El análisis de componentes principales (ACP), indica que la variable que mayor correlación presenta con el carbono orgánico es la altitud. Asimismo, este análisis sugiere la formación de tres sectores: un primer (I) sector que incluye suelos con características propias de zonas altas (poco espesor en los diferentes horizontes, altos contenidos de materia orgánica, alta capacidad de intercambio asociada a la materia orgánica), un segundo (II) sector que asocia los suelos menos ácidos y con mayores porcentajes de saturación de bases y un tercer (III) sector que está definido por los suelos con mayores contenidos de arcilla. Se concluye que la variabilidad del carbono orgánico en los suelos está estrechamente asociada con la altitud y con los atributos edáficos que son más influenciados por los elementos climáticos cuya dinámica depende de la altitud.

Palabras clave: Carbono orgánico; altitud; análisis de componente principales; capacidad de intercambio catiónico.

Abstract

Statistical analysis of soil characteristics in the Santo Domingo river basin shows that the organic carbon behaviour is significant related to CEC, altitude, calcium, exchangeable aluminium and silt. These variables explain 73% of its variability. Principal components analysis indicate that the highest correlation with organic carbon is obtained with altitude. Furthermore, the analysis allows to separate soils in three sectors: the first sector (I) correspond with soils proper to the high lands (shallow horizons, high organic matter content

* Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales Renovables, Laboratorio de Suelos, Mérida-Venezuela.

and high exchange capacity associated to organic matter); a second sector (II) associated with less acid soils and higher percentages of base saturation; a third, sector (III) is defined with higher clay content. As conclusion, the organic carbon variability in soils is closely associated with altitude and edaphic attributes, which are influencing by climatic factors and of which dynamic depend the altitude.

Key words: Organic carbon; altitude; principal components analysis; cation exchange capacity.

Introducción

El contenido de materia orgánica ha sido estudiado en una gran cantidad de suelos en el mundo y su mayor o menor proporción ha sido atribuida a diferentes factores: precipitación, temperatura, humedad relativa, contenido de arcilla, factor biótico, altitud (asociada con la disminución de la temperatura), material parental, etc. Ochoa *et al* (1981) y Jaimes y Elizalde (1990) encontraron, para suelos de Venezuela, que los contenidos de materia orgánica aumentan con la altitud, mientras que para Oballos (1995), en cuencas pequeñas, no se observan aumentos definidos de materia orgánica. El aumento en los contenidos de materia orgánica con la altitud está asociado con la disminución de la temperatura para altitudes superiores a los 3000 msnm, mientras que para altitudes comprendidas entre 1500 y 2000 msnm, se corresponde con los aumentos de la precipitación, igualmente en condiciones de extrema acidez y proliferación de hongos puede asociarse con la disminución de la actividad bacteriana y rata del proceso de mineralización, lo cual determina altos contenidos de

materia orgánica en los suelos (Ochoa *et al*, 1981). Tavant *et al* (1994), estudió la variación del carbono orgánico en función de las propiedades del suelo y de la altitud, en materiales calcáreos para el Jura (Francia), encontrando que el calcio explica el 77% de la variación del carbono orgánico, y que la altitud solamente explica el 1,1% de la variación del mismo.

El objetivo del presente trabajo es el de estudiar el comportamiento del carbono orgánico en función de la altitud tomando en consideración las propiedades de los suelos

Materiales y métodos

Se seleccionaron 256 perfiles, entre altitudes de 800 y 3450 msnm, provenientes de siete lugares en la Cuenca del río Santo Domingo (Figura 1), sobre diferentes posiciones geomorfológicas (morrenas, abanicos fluvio glacial, conos terrazas y vertientes), las cuales están constituidas por materiales que provienen en lo fundamental del Complejo Iglesias. Para cada uno de los lugares seleccionados se

tomaron toposecuencias, ordenadas y sistematizadas en relación a la topografía, litología, clima, diferencia de vegetación, entre otros. Mediante estos criterios se delimitaron áreas de diferentes tamaños (300x300, 250x350, 400x400 m), para cada una de las parcelas se aplicó un muestreo anidado, en el cual la selección de la muestra se basa en aleatorización y en la dirección. Este muestreo aleatorio garantiza que cada unidad de muestreo tenga igual probabilidad de ser seleccionada. Para este muestreo se consideraron cuatro niveles de distancias, diseñados con base en las dimensiones del área (100, 50, 25, 12.5 m), obtenido para cada una de las áreas entre 32 y 48 perfiles. Las áreas seleccionadas fueron: Mucubají (3450 msnm), Los Friales (2800 msnm), El Baho (2300 msnm), Las Mesas (1500 msnm), Las Piedras (1650 msnm), La Soledad (1200 msnm) y Calderas (1000 msnm).

A las muestras se le realizaron las siguientes determinaciones analíticas: *Granulometría*: método de Bouyoucos (IGAC, 1973); *pH en H₂O y KCl*, relación 2:1, método Potenciométrico. (IGAC, 1973); *Carbono Orgánico*: método de Walkley y Blanck. (Soil Conservation Service, 1967); *Capacidad de Intercambio Catiónico*: método del Acetato de Amonio, 1N, pH7. (Jackson, 1964); *Bases Intercambiables*: Extracción Ca, Na, Mg, K., método de Espectofotometría absorción atómica y *Acidez Intercambiable*: método Yuan. (1969).

Los suelos fueron clasificados como: Entisoles, Inceptisoles, Molisoles y

Ultisoles de acuerdo con Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1994).

Las variables seleccionadas para realizar los diferentes análisis estadísticos fueron: arcilla (A), limo (L), arena (a), pH agua (pH Ag), pH KCl, hidrógeno (H) y aluminio (Al) cambiabile, calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K) cambiables, capacidad de intercambio catiónico (CIC), % de saturación de bases (SB), carbono orgánico (CO) y altitud (Alt).

El estudio entre el carbono orgánico y las variables se realizó de la manera siguiente. (1) calculando las correlaciones lineales que unen las variables entre ellas, (2) estableciendo modelos matemáticos entre el carbono orgánico y las variables más discriminantes (regresión lineal múltiple); en esta última operación, las variables se introducen una después de la otra comenzando por aquella que presente más unión al carbono. La selección es ascendente y progresiva, es decir que las variables introducidas que no son significativas después de un cierto número de pasos son eliminadas (Método de Backward), (Chattlerjee and Price, 1977). Los modelos matemáticos son seleccionados en función de los coeficientes de determinación R² y del estadístico F. (3) aplicando un análisis de componentes principales (ACP) de tipo R, a partir de una matriz de correlación, la cual es expresada mediante ejes de combinación lineal, que se construyen en función de las variables originales. Así, los ejes de mayor

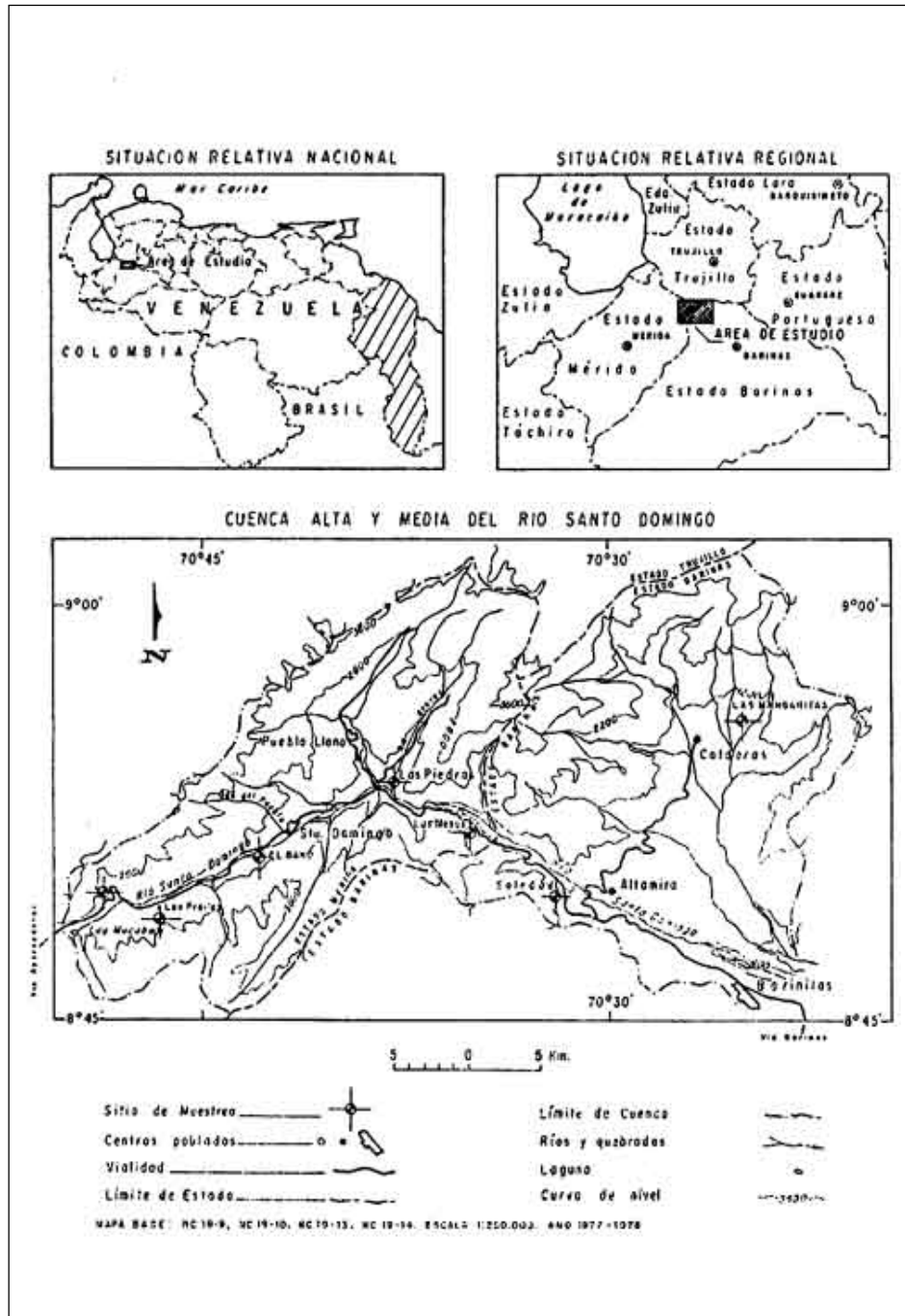


Figura 1. Localización de las áreas de estudio.

variación se corresponden con los componentes principales que estructuran a la matriz de individuos por cada variable (Fariñas, 1996). Como etapa final se realizó un análisis cluster (Distancia euclidiana, método Ward).

Resultados y análisis

Al comparar dos a dos las correlaciones simples de las diferentes variables estudiadas en la cuenca se observa que el carbono orgánico presenta correlaciones positivas y altamente significativas ($p = 0,01$) con la CIC, la altitud y el limo, y significativas ($p = 0,05$) con la arcilla, el hidrógeno y el % de saturación de bases. (Cuadro 1). Estas correlaciones coinciden con las encontradas por Tavant et al (1994), para la región del Jura (Francia), a excepción del calcio. Este efecto indica la existencia de multicolinealidad entre las variables seleccionadas, razón por la cual, se utiliza como método de selección de las variables que explican el comportamiento del carbono orgánico, el de Backward, de acuerdo con el mismo, las variables explicativas son el aluminio, el calcio, la CIC, el limo y la altitud, estas explican el 73%, de la variación del carbono orgánico. La CIC es la variable explicativa más importante (Coeficiente de regresión tipificado "Beta" = $5,62 \times 10^{-1}$, estadística $F = 134,418$). La altitud, el calcio, el aluminio y el limo se ubican después de la CIC, de acuerdo con sus valores de Beta ($3,41 \times 10^{-1}$, $2,03 \times 10^{-1}$,

$1,46 \times 10^{-1}$, $1,07 \times 10^{-1}$ respectivamente), los cuales son altamente significativos. Los coeficientes de la ecuación de regresión lineal se presentan en el Cuadro 2.

Para el análisis de componentes principales se utilizaron todas las variables, a pesar de que el análisis de correlaciones mostró como variables más explicativas la CIC, la altitud y el calcio y en menor grado el aluminio y el limo. Del mismo se tiene que los componentes 1 y 2 absorben el 50% de la varianza acumulada, la absorción de la misma se hace de manera gradual hasta alcanzar en el décimo componente el 94% de la varianza acumulada. El componente 1 es definido por el % de saturación de bases, el calcio, el pH en agua, el pH en KCl y en menor grado la arena y el magnesio. La altitud, el carbono orgánico y en menor grado la arcilla, la CIC y el limo definen el componente 2 (Figura 2). La altitud y el carbono presentan una alta correlación positiva, igualmente el carbono orgánico correlaciona positivamente con el limo, la CIC y el Aluminio, lo cual confirma las uniones establecidas en el análisis precedente.

La distribución de las observaciones en la conformación de los componentes 1 y 2 sugiere la formación de tres sectores: sector (I) responde a suelos con características propias de zonas altas: poco espesor en los diferentes horizontes, altos contenidos de materia orgánica, alta capacidad de intercambio asociada a la materia orgánica. El limo aparece como una característica

Cuadro 1. Matriz de correlaciones.

Variabes	CO	Ca	Mg	Na	K	CIC	SB	Al	H	pH agua	pH KCl	A	L	a
Ca	0.071													
Mg	0.053	0.576												
Na	0.133	-0.172	0.068											
K	0.021	0.393	0.323	-0.172										
CIC	0.736	-0.100	-0.043	0.068	-0.053									
SB	-0.283	0.664	0.609	-0.134	0.350	-0.483								
Al	0.236	-0.398	-0.414	0.192	-0.131	0.151	-0.448							
H	0.328	-0.084	-0.104	0.255	-0.056	0.179	-0.173	0.256						
pH agua	-0.043	0.469	0.463	0.007	0.043	-0.186	0.524	-0.442	-0.109					
pH KCl	0.108	0.459	0.429	-0.085	0.121	-0.051	0.509	-0.398	-0.069	0.799				
A	-0.315	-0.394	-0.171	0.023	-0.090	0.034	-0.356	-0.071	-0.184	-0.364	-0.431			
L	0.489	-0.097	-0.069	0.212	-0.088	0.377	-0.388	0.232	0.246	-0.075	0.004	-0.123		
a	0.040	0.414	0.193	-0.130	0.129	-0.225	0.528	-0.054	0.043	0.365	0.396	-0.861	-0.399	
Alt	0.629	-0.019	-0.085	0.192	-0.174	0.386	-0.186	0.178	0.407	0.173	0.357	-0.544	0.456	0.269

Valores altamente significativos y significativos en negritas

Cuadro 2. Regresión múltiple del carbono orgánico en función de la Capacidad de intercambio, altitud, aluminio cambiante, calcio, aluminio cambiante y limo.

Variabes explicativas	coeficientes no estandarizados	Tc	(p > T)
Constante	-4.462	-9,34	(0,000 ^{**})
Aluminio	2,66x 10 ⁻¹	3,96	(0,000 ^{**})
Altitud	0,013 x 10 ⁻¹	8,84	(0,000 ^{**})
Calcio	2,24 x 10 ⁻¹	5,63	(0,000 ^{**})
Capacidad de Intercambio	2,07 x 10 ⁻¹	15,20	(0,000 ^{**})
Limo	0,49 x 10 ⁻¹	2,78	(0,006 ^{**})
Limo			
R ² = 0.73			
n = 256			

** Altamente significativa ($\alpha = 0,01$)

importante, sin embargo no es explicada. El sector (II), asocia suelos menos ácidos y con mayores porcentajes de saturación de bases y el sector (III) es definido por los suelos con mayores contenidos de arcilla.

El análisis cluster reúne los 256 suelos en 5 grupos: el primer grupo (I),

separa claramente los suelos de Calderas, el segundo grupo (II), encierra los suelos de La Soledad y Las Mesas, el tercero (III), agrupa los suelos de Las Piedras, el cuarto (IV), los del El Baho y Los Frailes y el quinto (V), los de Mucubají. Esta separación se fundamenta en la altitud en la cual se

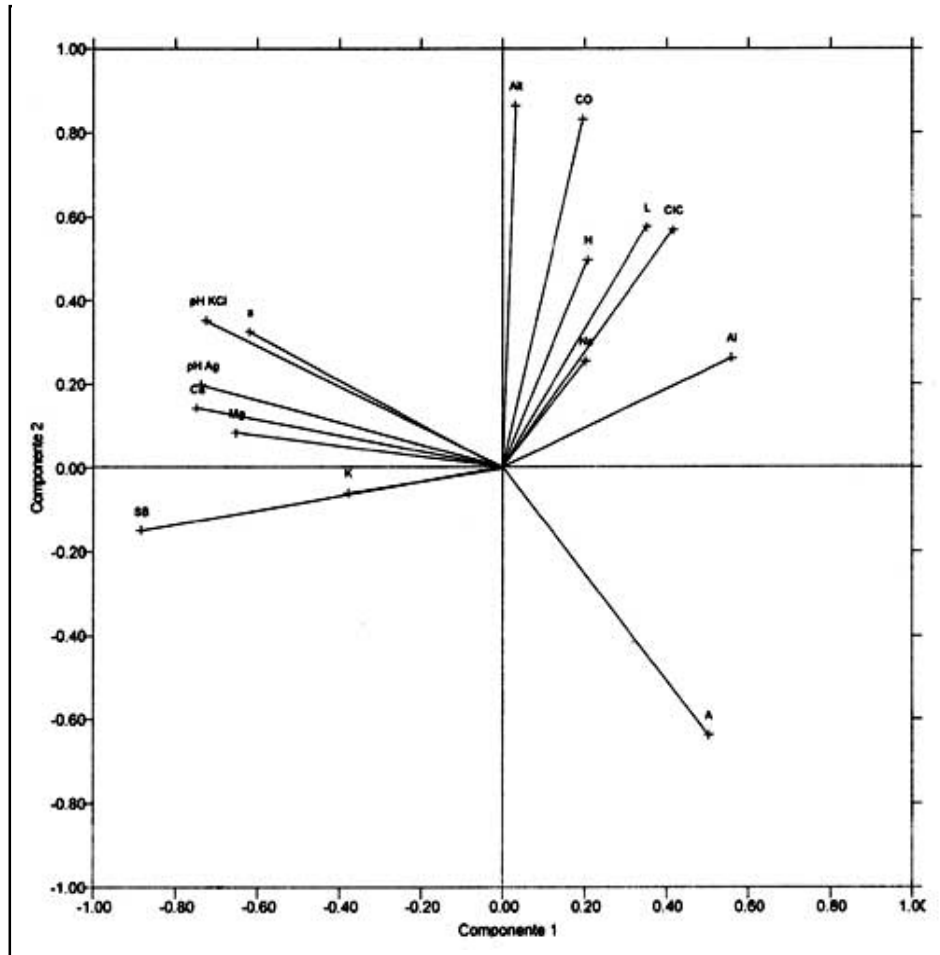


Figura 2. Diagrama de correlación entre las variables estudiadas y los dos componentes principales.

encuentran ubicados los suelos: superior a los 3000 metros el grupo (V), entre 2200 y 3000 m el grupo (IV), entre 2200 y 1600 m el grupo (III), el grupo (II) entre 1600 y 1000 m y el grupo (I), inferior a los 1000 m. Los grupos del cluster no se pueden identificar en el plano de ordenamiento, por lo cual no se señalan.

Taxonomía de los suelos

La cuenca del Santo Domingo de acuerdo con Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1994), encierra en lo fundamental dos ordenes: Entisoles e Inceptisoles, algunos Molisoles producto de los cambios introducidos por el hombre y Ultisoles en zonas de menor altitud con

materiales parentales arcillosos, precipitaciones altas y temperaturas moderadamente altas. La temperatura condiciona la presencia de los grandes grupos Cryaquept, Cryumbrept y Cryochrept, así como la materia orgánica define los Humitropept y los Haplohumult, en lugares reducidos se encuentran Eutropets y Hapludoll que son construidos por el hombre, sobre fuertes pendientes se presentan Troporthent y en el resto de la zona Dystropept.

Conclusiones

De acuerdo con los resultados los contenidos de carbono orgánico de los suelos de la cuenca del Santo Domingo, son dependientes en lo fundamental de la capacidad de intercambio catiónico, de la altitud y del calcio, y en menor medida del aluminio intercambiable y el limo. A pesar de que la capacidad de intercambio catiónico es la variable que aparece como la más predictora, es de señalar que la capacidad de intercambio catiónico de la materia orgánica depende del número de moléculas orgánicas estabilizadas, y la producción de estas moléculas es limitada por la dinámica de la humificación y por la introducción de materia orgánica de fácil descomposición (Tavant, *et al* 1994). En las condiciones de 2800 a 3500 msnm es la materia orgánica quien regula la capacidad de intercambio catiónico, a pesar de que pudiera considerarse que

a estas altitudes el grado de descomposición e incorporación de ella al suelo es restringida y su aporte a la capacidad es limitada, sin embargo, en un análisis realizado por Sosa *et al* (1997) para la zona de Mucubají se mostró que el aporte de la materia orgánica a la capacidad de intercambio catiónico es del 77%, y el de la arcilla el 23%, lo que indica que la materia orgánica ha sufrido una buena descomposición. En el análisis de componentes principales la variable que presenta la más alta correlación con el carbono orgánico es la altitud, igualmente este análisis permitió separar los suelos en tres sectores: un primer (I) sector que responde a suelos con características propias de zonas altas (poco espesor en los diferentes horizontes, altos contenidos de materia orgánica, alta capacidad de intercambio asociada a la materia orgánica), un segundo (II) sector que asocia los suelos menos ácidos y con mayores porcentajes de saturación de bases y un tercer (III) sector que está definido por los suelos con mayores contenidos de arcilla. Los sectores I y II responden en lo fundamental a condiciones propias del medio (zonas altas y materiales parentales, respectivamente), el sector II está asociado a la acción antrópica.

Referencias citadas

CHATTERJEE, S. and B. PRICE. 1977. **Regression analysis by exam-**

- ple. John Wiley and Sons. Inc. NY. USA. 228p
- FARIÑAS, M. 1996. *Análisis de la vegetación y sus relaciones con el ambiente mediante métodos de ordenamiento*. CIELAT. Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes Tropicales. Trabajo de Ascenso. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 256p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI (IGAC). 1973. **Métodos analíticos del laboratorio de suelos**. Bogotá.
- JAIMES, E. y G. ELIZALDE. 1990. *Contenido de materia orgánica de epipedones de suelos venezolanos de acuerdo a gradientes altotérmicos*. **Agricultura Andina**. V. 5. 28-38.
- OBALLOS, J. 1995. *Caracterisation des sols de la région de Las Cruces-Santa Elena de Arenales. Mérida-Venezuela*. (Contribution à la connaissance de la pédogenèse en montagne tropicale humide). Thèse de Doctorat. Université de Toulouse-Le Mirail, France. 204p.
- OCHOA, G., D. MALAGÓN y J. PEREYRA. 1981. *El contenido de materia orgánica, nitrógeno total y factores que los afectan en algunos suelos de Venezuela*. CIDIAT. Mérida-Venezuela. 21p.
- SOIL CONSERVATION SERVICE. 1967. *Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples*. **Soil Survey** Inv. Rep. N° 1. U.S.A.
- SOIL SURVEY STAFF. 1994. **Keys to Soil Taxonomy**. United State Department of Agriculture Soil Conservation Service. Sixth Edition. 306p.
- SOSA, J., G. OCHOA y J. OBALLOS. 1997. *Caracterización físico-química y génesis de suelos de Mucubají*. Edo. Mérida. Venezuela. *XIV Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo*. CD-ROOM. N° D.L. FR 2529710
- TAVANT, Y., H. TAVANT et S. BRUCKERT. 1994. *Variation du carbone organique en fonction des propriétés des sols et de l'altitude dans le Jura (France)*. **Geoderma**. 61. N° 1-2.133-141.