

SIGNIFICACIÓN PEDOLOGÍA DEL HIERRO EN UNA SECUENCIA DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL SAN EUSEBIO, MÉRIDA, VENEZUELA

[Guido Ochoa](#)^{*}, Hender Bracho^{*} y [Jajaira Oballos S.](#)^{**}

^{*}Profesores. Universidad de Los Andes (ULA)
Instituto de Geografía y Conservación de
los Recursos Naturales. Laboratorio de Suelos
Vía Chorros de Milla. Apdo. 5101
Mérida. Venezuela

^{**}Profesora. ULA. Centro de Estudios Forestales
y Ambientales de Postgrado. Vía Chorros de Milla
Apdo. 5101. Mérida. Venezuela

RESUMEN

Con el objeto de estudiar el papel del hierro como indicador genético en suelos de alta montaña tropical húmeda se seleccionó una toposecuencia de 140 m de longitud en la Unidad Experimental San Eusebio (2.400 m.s.n.m.), estado Mérida, Venezuela. Los contenidos de hierro en sus diferentes formas (hierro total - Fed-, hierro cristalino - Fed-, hierro amorfo -Feo-) y sus relaciones (Feo/Fed, Fed/Fet, Fed/Arcilla, Fed-Feo/Fet y Fet-Fed/Fet) no permitieron establecer grados de evolución en los suelos estudiados. Ello está fundamentalmente relacionado con el tipo de material parental (lutitas cretácicas), el cual bajo las condiciones de montaña tropical húmeda condiciona la composición mineralógica de los suelos. Las diferencias entre los dos órdenes de suelos son en lo fundamental morfológicas, causadas por la mayor o menor intensidad del proceso de iluviación de arcilla presente en los suelos, en función de la posición topográfico en la que se desarrollan los mismos.

Palabras Clave: Montaña tropical húmeda; suelos arcillosos; hierro cristalino; hierro amorfo; Inceptisoles; Ultisoles.

INTRODUCCIÓN

El hierro es un excelente trazador de la evolución del suelo, en razón de sus propiedades químicas originales; por ello constituye un indicador utilizado ampliamente en la pedología (Jeanroy *et al.*, 1984). Los óxidos cristalinos de hierro se han identificado en su mayoría como productos de la pedogénesis (Schwertmann 1988). La significación pedogenética de los compuestos de hierro en la génesis del suelo es un indicador de las condiciones ambientales del medio en el cual se forma y desarrolla un suelo (Schwertmann y Lathan, 1986; Schwertmann, 1988).

Los factores ambientales a tomar en cuenta en el desarrollo de los compuestos de hierro son el clima, (pasado y presente), el tiempo, el material parental, la vegetación, la topografía y la posición en la cual se encuentra el perfil (Fitzpatrick, 1988).

Schwertmann y Lathan (1986) encontraron para Oxisoles desarrollados sobre peridotitas solamente goetita a partir de 1.050 m de altitud, a actitudes inferiores observaron una mezcla de hematita y de goetita; estos suelos presentan alta proporción de óxidos de hierro (70 a 75% de Fe₂O₃).

Para Ultisoles e Inceptisoles formados a partir de materiales lutíticos en la región Las Cruces, Santa Elena de Arenales, Mérida, Venezuela (100 – 2.500 m), la goetita se encuentra presente y es más abundante a altitudes superiores a los 2.000 m (Oballos,

1995).

A pesar de las aseveraciones del comportamiento del hierro como elemento trazador de la evolución del suelo, al hierro libre no se le puede atribuir un valor de índice de alteración cuando la referencia inicial de la roca madre está esencialmente constituida por productos de hierro bajo este estado (Oballos, 1995).

El objetivo es estudiar el papel del hierro como indicador genético en una secuencia de suelos en la Estación Experimental de San Eusebio, en la Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, estado Mérida, Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizó una toposecuencia de suelos de 140 m de longitud, en la Estación Experimental de San Eusebio (Figura 1). Para ello fueron seleccionados 12 perfiles, ubicándose en diferentes posiciones topográficas: cóncava, cóncava-convexa y convexa (Figura 2). La secuencia se ha desarrollado sobre materiales lutíticos pertenecientes a la formación Colón (Cretáceo). Estos materiales generan un relieve de colinas y un microrelieve de posiciones topográficas cóncavas y convexas.



FIGURA 1. Ubicación de la secuencia estudiada.

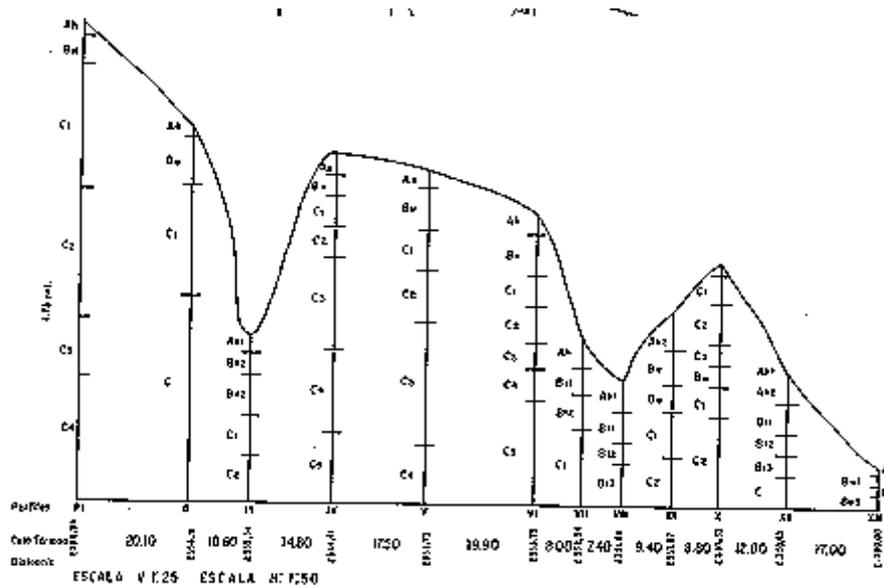


FIGURA 2. Ubicación de los perfiles en la topo secuencia.

La dinámica de los procesos de modelaje se manifiesta en la presencia de reptación, de solifluxión y de coladas de barro, lo cual genera una gran inestabilidad en la superficie donde se forman los suelos. En estas superficies se produce un desplazamiento de 2 cm anuales.

De acuerdo con Ewel y Madriz (1968) aplicando el criterio de las zonas de vida de Holdridge (1996), esta zona se caracteriza como bosque húmedo montano bajo (BH-mb). El área se encuentra a una altitud de 2.400 m.s.n.m., y presenta una permanente nubosidad producto del ascenso orográfico de las masas de aire húmedo provenientes del Lago de Maracaibo y del pie de monte andino.

El conjunto ambiental que sustenta una vegetación de selva nublada montana, siempre verde, mixta, irregular, densamente cerrada y rica en especies; es un medio ecológicamente frágil, caracterizado por la existencia de altas precipitaciones y suelos arcillosos, que por su característica boscosa limita los procesos de erosión.

Por lo antes expuesto Lamprecht y Veillon (1967) señalan que estas zonas encierran bosques compuestos de coníferas y especies latifoliadas. La precipitación, en el área es de 1.675 mm y la temperatura promedio de 12,6 °C. Más del 80% de las precipitaciones ocurren entre los meses de marzo y noviembre; los totales mensuales superan los 60 mm y en los meses de mayo a octubre alcanzan los 150 mm, con una distribución de la precipitación bimodal. No existe período seco en la zona objeto de estudio.

Las temperaturas mínimas se presentan en los meses de diciembre a febrero y las máximas en los meses de mayo a agosto. La oscilación térmica entre las medias mensuales mínimas y las máximas es inferior a los 3 °C. De acuerdo con la estimación del balance hídrico, la sección de control de los suelos permanece húmeda por más de 270 d acumulados ó 45 d consecutivos. Estas características permiten definir el régimen de humedad del suelo como údico (SSS, 1999).

Los suelos se describieron y muestrearon a diferentes profundidades hasta alcanzar un máximo de 5 m, llevados posteriormente al laboratorio para su análisis. Las muestras fueron secadas al aire, desagregadas a mano y tamizadas a 2 mm, la extracción del hierro cristalino se realizó con el método del ditionito-citrato-bicarbonato, (Mehra y

Jackson, 1960), el hierro amorfo fue calculado por el método del oxalato descrito por Schwertmann (1964), ambos procedimientos se aplicaron a la fracción fina (< 2 mm). La determinación de los elementos totales se realizó en la fracción arcilla con el microscopio electrónico analítico Hitachi por estequiometría. Aceleración voltaje 15 Kev, ángulo de incidencia = 90°, ángulo de emergencia = RX = 32,6°; ventana RX = 2,4°; espesor de la ventana = 5 μ.

El análisis de componentes principales (ACP) aplicado fue expresado mediante ejes de combinación lineal, construyéndose en función de las variables originales, de tipo R basado en los coeficientes de correlación (Figuras 1 y 2).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características generales de los suelos

Los suelos presentan texturas arcillosas, con un incremento de arcilla en la mayoría de ellos en profundidad (Cuadro 1). En los suelos clasificados como Ultisoles se muestra la evidencia de la acumulación de arcilla, la cual es confirmada por la presencia de revestimientos arcillosos. Estos revestimientos se localizan en los huecos de los horizontes B, con una mayor proporción en la parte baja de estos horizontes. Los revestimientos presentan una estructura microlaminada y zonas de extinción netas, características típicas de cutanes de iluviación (Oballos, 1997).

Las condiciones bajo las cuales se desarrollan los suelos son caracterizadas por altas precipitaciones, topografía ondulada, materiales parentales con pobres contenidos de reservas minerales alterables (lutitas, constituidas por cuarzo, caolinitas, un poco de micas y minerales a 14Å) condiciones que de acuerdo a Miller (1983) permiten la formación de horizontes argílicos en períodos cortos. El pH de los suelos es extremadamente ácido.

Los valores más bajos se encuentran en los horizontes superficiales en todos los perfiles y aumentan con la profundidad, en cuanto a los contenidos más altos de materia orgánica se encuentran en los horizontes superiores.

CUADRO 1. Características generales de suelos de la secuencia.

Los principales cationes de saturación en los suelos son el potasio y el magnesio, los cuales son medianos en los horizontes superiores y bajos a muy bajos en los horizontes inferiores. La tendencia general de los cationes en los suelos es: K>Mg>Na>Ca.

Los suelos fueron clasificados como Inceptisoles y Ultisoles (SSS, 1999), los Inceptisoles a nivel de familia son: Typic Dystrudepts, arcilloso fino, isomésico; Oxic Dystrudepts arcilloso fino isomésico y Aquic Dystrudepts, arcilloso fino, isomésico; y los Ultisoles a la familia Typic Haplohumult, arcilloso fino, isomésico.

El hierro y sus relaciones

Volubuev citado por Segalen (1964) expresa que los contenidos de hierro están más relacionados con las condiciones climáticas que con la roca madre, aseveración que pudiera ser cierta para las grandes zonas climáticas (zona tropical - zona templada), pero para zonas climáticas restringidas, los valores obtenidos serían diferentes según la roca de donde deriva el suelo. Así, Lathan citados por Schwertmann y Lathan (1986), para Oxisoles en Nueva Caledonia, desarrollados sobre rocas ultrabásicas y una temperatura 22 °C, encontraron valores de hierro total que fluctúan entre 700 y

750 g/kg.

En sus experimentos Rutherford (1987) ha observado que para Ultisoles en Belize desarrollados sobre granitos, precipitaciones de 3.000 mm y temperatura de 25 °C, valores de 20,3 a 38,5 g/kg. Oballos (1995) para suelos de la cuenca del río Capaz, Mérida, Venezuela, desarrollados a actitudes inferiores a los 1.000 m.s.n.m., sobre materiales lutíticos de formaciones cretáceas (Luna, Capacho, Colón y Aguardiente), temperaturas superiores a los 23 °C y precipitaciones que fluctúan entre 1.600 y 1.900 mm, encontró valores promedios de hierro total para Ultisoles de 38,19 g/kg y para Inceptisoles 36,42 g/kg.

El material lutítico de la formación Colón sobre el cual se desarrollan los suelos de la secuencia en estudio presenta un contenido de hierro total (Fe_2O_3) de 69,4 g/kg. Los suelos estudiados poseen valores que varían entre 58,1 y 167 g/kg, con valores promedios para los Inceptisoles de 100,80 g/kg y 114,86 g/kg para los Ultisoles.

Al analizar en su conjunto los valores de los suelos de los diferentes autores citados, es posible deducir que el material parental juega un papel importante en los resultados, pero al comparar los valores obtenidos en este estudio con los de Oballos (1995), para zonas en actitudes inferiores a los 1.000 m, es de observarse que los de la secuencia en estudio son más altos, ello puede deberse a una alteración más intensa de los materiales en las zonas altas. En la cuenca, la relación precipitación- evaporación potencial (P/ETP) es más importante hacia las zonas altas, lo cual sugiere, que la mayor disponibilidad de agua para la pedogénesis contrarresta el efecto inhibitor de la disminución de la temperatura con la altitud, en la intensidad de los procesos pedogénéticos de estos suelos.

Los valores del hierro extraído con el ditionito citrato bicarbonato (Fed) son más altos que el hierro extraído con el oxalato (Feo) en todos los suelos estudiados, indicando que la fracción dominante en el hierro es la cristalina (Cuadro 2).

En los perfiles IV, V, VI y XII, los valores bajos de Fed ocurren en los horizontes C, lo cual está relacionado con los menores contenidos de arcilla en estos horizontes, y es contradictorio con la relación arcilla/Fed, que indica para estos perfiles una alta migración de hierro paralela a la arcilla. En cuanto a los perfiles II, VII y VIII, los valores máximos de Fed se encuentran en los horizontes C y Bt más profundos, aparentemente, relacionados con los mayores contenidos de arcilla en ellos presentes, igualmente contradictorio con la relación arcilla/Fed, por cuanto se produce una disminución de las relaciones, con respecto a los horizontes superiores. Referente a los perfiles I, III, IX, X y XI, los valores de Fed son altos en los horizontes C más profundos y no poseen relación con los contenidos de arcilla, por cuanto, estos valores son menores. Ello se puede interpretar como una alta liberación de hierro a partir de la desintegración del material rocoso. Al igual que los perfiles II, VII y VIII, la relación arcilla/Fed disminuye, por lo cual no hay relación con la migración del hierro y la arcilla.

Cuando no existe una relación en la migración arcillosa y el hierro, se pudiera estar de acuerdo con Oguniola *et al.* (1989) quienes señalan que el movimiento de hierro es parcialmente independiente del movimiento de arcilla. No obstante, las correlaciones entre el hierro y la arcilla fueron altamente significativas indicando que la migración de estos minerales se hace de manera conjunta ($r = 0,517$; $n = 65$; $p = < 0,01$). Estos resultados no se mantienen cuando las correlaciones son hechas para los dos órdenes de suelos presentes en la secuencia (Cuadro 3), Inceptisoles ($r = 0,5334$; $n = 45$; $p = < 0,01$) y Ultisoles ($r = 0,16$; $n = 20$; $p = 0,01$), se observa que el coeficiente de correlación es altamente significativo en los Inceptisoles y no significativo en los Ultisoles.

CUADRO 2. Características químicas del hierro y sus relaciones para los suelos de la secuencia.

Los valores de Feo son variables con la profundidad en casi todos los perfiles, sugieren que el grado de intemperismo es alto en los minerales silicatados que contienen hierro o que el material parental posee altos contenidos de estos minerales.

La relación Feo/Fed de la mayoría de los perfiles estudiados presentan valores más altos en los horizontes A que en los B, es posible que ello se deba a que la materia orgánica inhibe la cristalización, tal como lo sugiere Schwertmann y Taylor (1977). De acuerdo con Alexander (1974), Bockheim (1979), Birkeland *et al.* (1980) y Walker (1983) en los suelos más evolucionados, los contenidos de Fed aumentan a expensas de los amorfos.

Boero y Schwertmann (1987) y Mahaney y Sanmugadas (1990) observaron que cuando los valores de la relación Feo/Fed superan la unidad se considera que los suelos son poco evolucionados. De acuerdo con lo expresado, los suelos estudiados entrarían en la categoría de suelos evolucionados, con valores inferiores en la mayoría de los casos a 0,50. Los valores son similares entre los grupos de suelos que constituyen la secuencia (Inceptisoles, 0,38; Ultisoles, 0,36). Estos resultados podrían señalar que los procesos de alteración de minerales son similares en los suelos, y que en aquellos, que pertenecen al orden de los Ultisoles los procesos de movilización de arcilla son más acentuados por efecto de la posición topográfica en la cual se han desarrollado, cóncavas o cóncavas-convexas.

La relación Fed-Feo/Fet muestra la proporción del hierro total que forma parte de la red cristalina del silicato, los valores son más altos cuando los suelos son menos alterados (Arduino *et al.*, 1984; Jeanroy *et al.*, 1984). Para los suelos estudiados, los valores son generalmente inferiores a 0,5, indicando que los silicatos ferromagnesianos contenidos en las rocas sobre la cual se desarrollan los suelos, presentan una mediana a alta alteración. Los valores promedios para Ultisoles (0,38) e Inceptisoles (0,43) sugieren un grado de alteración ligeramente superior en los primeros.

La relación Fed-Feo/Fet expresa la proporción del hierro total en forma de oxihidróxidos (goetita y hematita). Arduino *et al.* (1986) muestran que esta relación guarda una estrecha vinculación con la edad de los suelos, así los valores más elevados, se presentan en los suelos más evolucionados (del orden de 0,75). En el estudio realizado, los valores son inferiores a 0,50 en la mayoría de los casos. En los horizontes B se presentan los valores más altos, indicando un mayor grado de alteración. Los suelos, en su conjunto, presentan un bajo a moderado grado de evolución. Al comparar los Ultisoles (0,41) y los Inceptisoles (0,36), es de observarse que los Ultisoles presentan una tendencia a una mayor evolución (Cuadro 2).

Los elementos totales y sus relaciones

De acuerdo con Kha (1973) los valores de los elementos totales determinados en la fracción arcilla en función de sus relaciones moleculares, permiten evaluar la composición mineralógica de los suelos. La relación molecular sílice/aluminio varía entre 2,95 y 4,26 (Cuadro 3), lo cual indica que las arcillas dominantes son del tipo 2:1, esto coincide con la composición mineralógica de la fracción arcilla obtenida por Oballos (1995), para la zona (interestratificados 10-14V, vermiculitas y caolinitas, en orden de importancia). Los valores de ésta relación en los horizontes A son comparativamente más bajos que en los horizontes Bw, Bt y C. Los horizontes A de los Ultisoles presentan valores más altos que los Inceptisoles. Los valores de la relación sílice 1 aluminio son comparativamente más altos en los Ultisoles que en los Inceptisoles.

Los valores de la relación $\text{SiO}_2 / \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ varían entre 2,19 y 3,33, aumentan con la profundidad y son del mismo orden para los Inceptisoles y Ultisoles, sugiriendo que los suelos presentan una débil a mediana alteración.

Los resultados de las relaciones moleculares sílice / aluminio y sílice / sesquióxidos conjuntamente con los del hierro permiten señalar que los suelos en su conjunto presentan una débil a moderada evolución.

Análisis de componentes principales de los elementos totales y las diferentes formas del hierro

Se realizó un ACP con los elementos totales y las fracciones del hierro, con el fin de estudiar las relaciones que existen entre los diferentes parámetros. El fósforo total, sodio total, sílice total, hierro total, hierro cristalino y hierro amorfo se encuentran bien representadas en el plano principal, Figura 3 (componentes 1-2, los cuales llegan a explicar hasta un 70,6% del porcentaje acumulado de la varianza. El sodio total y el fósforo total presentan correlaciones altas y negativas con el componente 1, mientras que, el sílice total muestra una correlación alta y positiva con el mismo componente. Los valores de la sílice total aumentan en sentido opuesto al sodio y al fósforo total.

CUADRO 3. Composición química total y relaciones moleculares de los suelos de la secuencia (fracción < 2 U).

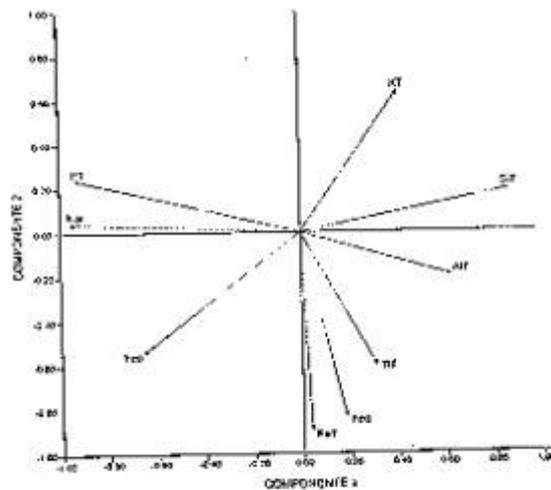


FIGURA 3. Correlación de las variables estudiadas con los componentes 1 y 2 (plano principal).

El hierro total y el hierro cristalino arrojan correlaciones altas y negativas con el eje 2 y altas correlaciones entre ellos. Ello muestra que el hierro total y el hierro cristalino aumentan en el mismo sentido, y que gran parte de éste está representado por el hierro cristalino, lo cual sugiere un grado de cristalización del hierro relativamente alto. De acuerdo con Arduino *et al.* (1984), Jeanroy *et al.* (1984) y Hernández *et al.* (1987), los bajos contenidos de hierro silicatado (Fet-Fed) son debidos a una alta alteración de los materiales. Este resultado confirma lo señalado, el material parental está ejerciendo una fuerte influencia en los valores de los suelos del sector estudiado.

El ACP no muestra tendencias de diferenciación entre Inceptisoles y Ultisoles en función de las variables estudiadas (Figura 4), todos los suelos conforman un solo

grupo. Sin embargo, se realizó un ACP por separado para cada grupo de suelos (Inceptisoles y Ultisoles), los mismos muestran que el hierro ditionito se encuentra bien representado en el plano principal y secundario (componentes 1-2 y 2-3) en los Ultisoles y en los Inceptisoles medianamente representado. Ello podría sugerir que los Ultisoles tienden a diferenciarse más del material parental, el cual está ejerciendo una fuerte influencia en la composición mineralógica de los suelos del sector (Figuras 3 y 4).

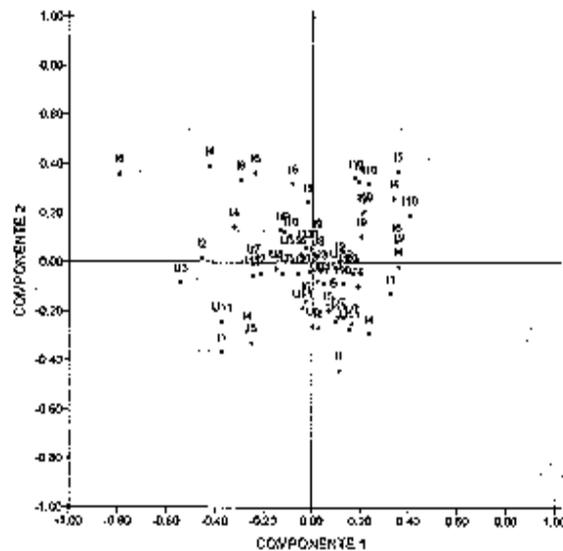


FIGURA 4. Representación de las observaciones.

CONCLUSIÓN

Del análisis de los diferentes parámetros del hierro y sus relaciones, se desprende que los resultados no son uniformes, así el dominio del hierro Fed sobre el Feo, los valores inferiores a 0,4 de la relación Feo/Fed y los valores inferiores a 0,50 de la relación Fet-Fed/Fet, indican un grado de evolución moderado a alto de los suelos estudiados. Mientras que, los valores bajos de la relación Fed-Feo/Fet indican que los suelos poseen una evolución moderada a baja. Lo antes expuesto indica que los parámetros usados no permiten deducir claramente grados de evolución en los suelos estudiados. Sin embargo, cuando se analizan los suelos por órdenes, Ultisoles e Inceptisoles, se evidencia que en todos los casos, a pesar de que los valores son de la misma magnitud, los Ultisoles muestran un grado de alteración ligeramente superior que los Inceptisoles.

SUMMARY

In order to study the roll of iron as genetic indicator in soils from high humid tropical mountains, a toposequence of 140 m length located at San Eusebio Experimental Station (2.400 masl), Mérida State, Venezuela was chosen. Different grades of evolution in the soils studied were not apparent from iron contents in its difference forms (total iron-Fet, crystalline iron-Fed-Fed, amorphous iron-Feo) and their relationships (Feo/Fed, Fed/Fet, Fed/clay, Fed/Feo/Fet and Fet-Fed/Fet). This is mainly related to the type of parental material (cretaceous pelites) which under humid tropical mountainous conditions determines the mineralogical composition of soils. Differences between the 2 soil orders are mainly morphological, caused by high or low intensity clay illuviation processes which are present in the soils, as a function of the topographic position in which they developed.

Key Words: Humid tropical mountain; clayey soils; free iron; amorphous iron; Inceptisols; Ultisols.

BIBLIOGRAFÍA

- ARDUINO, E., E. BARBERIS, E. AJMONE MARSAN, F. ZANINI and M. FRANCHINI. 1986. Iron oxides and clay minerals within profiles as indicators of soil age in northern Italy. *Geoderma* 37:45-55.
- ARDUINO, E., E. BARBERIS, F. CARRARO and M. G. FORNO. 1984. Estimating relative ages from iron-oxide/total-iron ratios of soils in the western Po valley, Italy. *Geoderma* 33:39-52.
- BOCKHEIN, J. G. 1979. Properties and relative age soils of southwestern Cumberland Peninsula, Baffin Island. N.W.T., Canadá. *Arc. Alp. Res.* 11:289-306.
- BOERO, V. and J. SCHWERMANN. 1987. Occurrence and transformations of iron and manganese in a colluvial terra rossa toposequence of northern Italy. *Catena* 14:519-531.
- EWEL, J. y A. MADRIZ. 1968. Zonas de vida de Venezuela. Memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Ministerio de Agricultura y Cría. Dirección de Investigación. Caracas, Venezuela. Editorial Sucre. 265 p.
- FITZPATRICK, R. K. 1988. Iron Compounds as indicator of pedogenic processes. Examples from the southern hemisphere. D. Reidel Publishing. C. NATO.ASI. (Serie 217:351-396).
- HOLDRIDGE, L. 1996. Ecología basada en zonas de vida. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas (IICA). San José, Costa Rica. 216 p.
- HERNANDEZ, A., J. TORRES, V. CRUZ y A. SALAZAR. 1987. Contenido y distribución de las formas de hierro en los suelos del sureste de Las Tunas. Academia de Ciencias de Cuba. Reporte No. 26.9 p.
- JEANROY, E., B. GUILLET and R. ORTIZ. 1984. Applications pédogénitiques de l'étud des formes du fer par les reactifs d'extraction: cas des soils brunifiés et podzolisés sur roches cristallines. *Science du Sol.* 3:199-211.
- KHA, N. 1973. Recherches sur l'évolution des soils à texture argileuse en conditions tempérées et tropicales. These Doc. Université de Nancy. Nancy. 157 p.
- LAMPRECHT, H. y H. P. VEILLON. 1967. La Carbonera. *El Farol* 18 (168):17-24.
- MAHANEY, W. and K. SANMUGADAS. 1990. Extractable Al and Fe in early to middle quaternary paleosols in Gorges Valley, Mount Kenya, East Africa. *Catena* 17:563-572.
- MEHRA, O. P. and M. L. JACKSON. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.* 7:317-327.
- MILLER, B. J. 1983. Ultisoles. Pedogenesis and Sod Taxonomy. 11. The soil orders L. P. Wilding, N. E. Smeck and G. F. Hall (eds). Elsevier. 283-323 pp.

- OBALLOS, J. 1995. Caractérisation 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 Toulouse Le Mirail. France. 204 p.
- OBALLOS, J. 1997. Micromorfología de suelos en la cuenca del río Capaz, región Las Cruces- Santa Elena de Arenales, Mérida-Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 41(1):53-59.
- OGUNSOLA, O. A, J. A. OJUETI, O. OLADE and E. J. UDO. 1989. Free oxide status and distribution in soils overlying limestone areas in Nigeria. *Soil Science*. 147(4):245-255.
- RUTHERFORD, G. K. 1987. Pedogenesis of two Ultisols (red earth soils on granite in Belize, Central America. *Geoderma* 40:225-236.
- SCHWERTMANN, U. 1964. The differentiation of iron oxide in soils by photochemical extraction with acid ammonium oxalate. *Z. Pflanzernahr. Dung, Bonn*, 105:194-202.
- SCHWERTMANN, U. 1988. Occurrence and formation of iron oxides in various pedoenvironments. D. Reidel. Publishing. C. NATO ASI. (Series 217:267-308).
- SCHWERTMANN, U. and M. LATHAN. 1986. Properties of iron oxides in some New Caledonian Oxisols. *Geoderma*. 9:105-123.
- SCHWERTMANN, U. and R. M. TAYLOR. 1977. Iron oxides. In mineral in soil environments. J. B. Dixon and S. B. Weed (eds). Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin. 145-180.
- SOIL SURVEY STAFF (588). 1999. Key soil taxonomy. U. S. D. A. SCS. 869 p.
- WALTER, A. L. 1983. The effects of magnetite on oxalate- and dithionite- extractable iron. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 47:1022-1026.