

## INFLUENCIA DEL MATERIAL PARENTAL Y DEL BIOCLIMA EN LA PEDOGÉNESIS DE LA CUENCA MEDIA Y ALTA DEL RÍO MOTATÁN. MÉRIDA-TRUJILLO. VENEZUELA

### PARENT MATERIAL AND BIOCLIMATE INFLUENCE ON THE RIVER MOTATÁN MEDIUM AND UPPER BASIN PEDOGENESIS. MÉRIDA-TRUJILLO. VENEZUELA

Guido R. Ochoa\*, Dimas Malagón\*\* y Jajaira Oballos\*\*\*

\*Profesores. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Laboratorio de Suelos del Instituto de Geografía. Mérida Venezuela. E-mail: guidooch@ula.ve y \*\*\* Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. oballos@ula.ve

\*\* Investigador. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá-Colombia.

#### RESUMEN

Con el objetivo de caracterizar física, química y mineralógicamente los suelos de la cuenca alta y media del río Motatán (Andes venezolanos) y generar información relacionada con su génesis, se seleccionaron 14 suelos representativos de las diferentes condiciones pedológicas (Entisoles, Inceptisoles, Molisoles y Ultisoles). La composición mineralógica del material parental influye fuertemente en los suelos, especialmente los ubicados en alturas superiores a 1 500-2 000 m, debido a las condiciones imperantes de fuertes pendientes, rejuvenecimiento por erosión y baja evolución (predominio de Inceptisoles y Entisoles). Los suelos se caracterizan por presentar texturas franco-arenosas, franco-arcillo-arenosas, franco-arcillosas y arcillosas; reacciones muy ácidas a ácidas (excepto algunos suelos sobre materiales calcáreos de la Formación Mucuchachí); medianos a altos contenidos de materia orgánica en los horizontes superficiales y tipos de humus que varían desde tipo mull hasta moder. Se observan 3 clases de evolución: 1. Incipiente: mezcla organo-mineral incompleta, parcial o no avanzada (mayoría de los suelos estudiados). Los procesos no han llegado a diferenciar acciones o eventos específicos, fundamentalmente por causa de los fenómenos erosivos. 2. Pseudo- Calcificación: altas saturaciones de Ca y/o Mg, pH neutro a básico, no hay iluviación de arcillas y humus tipo mull chernozénico o cálcico. Sin reacción al HCl por lo cual el proceso no es típicamente calcificación. 3. Argiluvación en medio ácido: migración de arcilla, baja saturación de cationes alcalinos y alcalino térreos y alta acidez de cambio por influencia de Al. Abundancia de minerales resistentes y acumulación de productos estables de alteración.

**Palabras Clave:** Suelos de montaña; material parental; grado evolutivo; génesis y clasificación de suelos; fracción arcilla; humus; Venezuela.

#### SUMMARY

This study aims to characterize soils from high and medium basin of *Motatán* river (located at the Venezuelan Andes) and to offer genesis-related information. Fourteen representative soil types from various pedologic conditions (Entisols, Inceptisols, Mollisols, Ultisols) were selected. Mineral composition of parent material is known to have a great influence on soils, especially on those soils located at 1 500-2 000 m above sea level or higher due to high slopes, soil rejuvenation because of. Erosion, and low evolution rates (domination of Inceptisols and Entisols). Soils textures are mainly sandy loam, sandy clay loam, clay loam, and clay. Soil reaction goes from acid to strongly acid, except some soils based on lime material at Mucuchachí Formation. Surface horizons have medium to high organic matter content, and humus types go from chernozem with mull to moder. Three classes of soil formation are observed: (1) Incipient, characterized by having an incomplete, partial and non-advanced organic/mineral mixture, (most soils under the study are included under this classification). Processes have not become to develop specific actions and/or events mainly because of erosion. (2) Pseudo-calci-fication, distinguished by high Ca and/or Mg saturation, neutral/basic pH, absence of clay illuvation, and calcic or chernozem with mull humus. Since no HCL reaction is observed, this is not a calcification process. (3) argilluviation, characterized by clay migration occurring under acid conditions, low base saturation of alkaline and alkaline earthy cations, high exchangeable acidity under Al influence, abundance of resistant minerals, and accumulation of stable products.

**Key Words:** Mountain soils; parent material; soil forming class; soil genesis and classification; clay texture; humus; Venezuela.

RECIBIDO: mayo 07, 2007

ACEPTADO: noviembre 20, 2007

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con UNDP-FAO (1966), los suelos de la cuenca del Motatán se formaron por la meteorización de los materiales de la roca mediante la acción de los diversos agentes que intervienen en el proceso. Los suelos resultantes difieren ampliamente en color, textura, profundidad y reacciones químicas. Ellos fueron clasificados como: suelos de Prado Alpino (páramo de Mucuchies), Litosoles en las laderas muy empinadas; Pódsolicos rojos y amarillos (Escuque).

En sus trabajos Ochoa y Malagón (1979), muestran la existencia de Humitropets y Troporthents en buena parte de la cuenca, en ellos predominan las arcillas tipo illita, vermiculita, clorita y caolinitas.

Por otra parte, Ochoa y Marante (1983), señalan que a excepción de aquellos suelos que se han encalado o se han desarrollado a partir de materiales de aluvión, el resto de los suelos presentan una fuerte desaturación de bases, siendo los pH ácidos. Estos resultados coinciden con lo encontrado por Ochoa *et al.* (2004) al estudiar 502 perfiles sobre diferentes materiales de las formaciones geológicas de los Andes venezolanos, quienes señalan que un 82% de suelos poseen un carácter ácido.

Los ordenes representados en los perfiles estudiados son: Inceptisoles (52,19%), Entisoles (18,73%), Ultisoles (15,44%) y Mollisoles (13,55%). Los Entisoles e Inceptisoles se presentan sobre cualquier tipo de material geológico, bajo todos los ambientes climáticos y topográficos. Los Ultisoles representan porcentajes importantes sobre materiales arcillosos (lutitas) a altitudes comprendidas entre los 1 000 y los 2 500 m.s.n.m., observándose el mayor porcentajes hacia los 2 000 m.s.n.m., en zonas con precipitaciones cercanas a los a 1 600 mm.

A través de sus investigaciones Aguilar y Mendoza (1977), determinaron las áreas potenciales para el desarrollo agropecuario de la cuenca del río Motatán a nivel de reconocimiento e indicaron la necesidad de estudios de suelos más detallados a fin de poder determinar el uso potencial de las tierras en función de aumentar la producción.

La ecuación de Jenny (1941), se ha utilizado para explicar la génesis del suelo y expresa que cualquier propiedad mismo es el producto de la acción combinada del clima, organismos, material parental, relieve y el tiempo; además, la ecuación permite estudiar las propie-

dades individuales del suelo (Arnold, 1965). En todos los estados de desarrollo varios procesos contribuyen a la formación del suelo, pero algunos procesos contribuyen más que otros.

Algunos suelos presentan características adquiridas durante su desarrollo y otros suelos han evolucionados a partir de procesos geológicos acumulados en el tiempo y sus rasgos son el producto de la herencia de las formaciones geológicas, que suministran el material al suelo (Arnold, 1983).

La importancia del clima y del material parental como factores en la formación del suelo es expresado por numerosos autores (Torrent y Nettleton, 1979; Maher *et al.*, 1994; Álvarez y Lavado, 1998). Para Jenny (1980) las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cambian sistemáticamente con el tiempo, con la posición en paisaje y con otros factores.

Para Shaw *et al.* (2001); Arocena y Sanborn (1999) los materiales parentales ejercen una gran influencia sobre la pedogénesis de los suelos. Según Young y Hammer (2000) la variabilidad espacial y temporal de los procesos geomorfológicos y pedológicos da origen a los diferentes tipos de suelo.

Otros investigadores como Jaimes *et al.* (2005), estudiaron el balance de los procesos pedogeomorfológicos de los suelos de las zonas de Piedra Azul, La Loma y La Ciénaga, en el estado Trujillo, encontrando que en las zonas de mayor contenido de suelos evolucionados el balance de procesos está caracterizado por el predominio de procesos de transformación (pedogénesis), en comparación con las ganancias y pérdidas ( $G < T > P$ ), significando que en estas áreas los sistemas tienen tendencias hacia el equilibrio morfopedológico. Este mismo procedimiento fue aplicado por Rivas *et al.* (2005) para caracterizar unidades pedogeomorfológicas en dos microcuencas de la cuenca alta del río Santo Domingo, en el estado Mérida, y encontraron que la morfogénesis domina sobre la pedogénesis ( $Mg > P$ ) en las unidades de alta montaña y en las de fondo de valle existe un equilibrio entre la morfogénesis y la pedogénesis ( $Mg = Pg$ ).

El objetivo del presente trabajo es: 1) Determinar las principales características físico, químicas, mineralógicas de los suelos de la cuenca alta y media del río Motatán, estado Mérida (Andes venezolanos); 2) Generar información relacionada con la génesis de los mismos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización y caracterización del área de estudio

La Cuenca Alta y Media del Río Motatán está localizada entre los 8°51'16" N y 70°48'44" O y 9°16'29" N y 70°38'12" O, a una altitud entre 850 y 4 100 m (ver Figura). Las principales unidades estratigráficas que afloran en el área son: el Complejo Iglesias (rocas de alto metamorfismo), precámbrico, ocupa la mayor parte del área de estudio; la Formación Mucuchachí, Carbonífero superior-Pérmico inferior, en algunas zonas de la cuenca alta y el Granito Valera-La Puerta, Paleozoico, en la cuenca media (MEM, 1997). La zona se caracteriza por presentar una dinámica de vertientes determinada por pendientes altas (25 – 65%).

En el área se presentan las siguientes zonas de vida: Bosque húmedo premontano (bh-PM) y montano (bh-M); bosque seco tropical (bs-T), premontano (bs-PM), montano bajo (bs-MB) y montano (bs-M); páramo subalpino (psa), (Edwel y Madriz, 1968). La vegetación de Páramo domina a partir de 2 600 m, caracterizada, principalmente, por las especies de frailejón (*Espeletia* spp.); en una estrecha zona entre La Mesa y La Quebrada la vegetación es xerófila (especies de Tunas (*Opuntia* spp.), Cardones (*Cereus* spp. y *Stenocereus* spp.), Pitahaya (*Acanthocereus tetragonus*), Guamacho

(*Pereskia guamacho*), y algunas hierbas bajas como la Verdolaga (*Portulaca*), Peonias (*Adernanthera peregrina*; etc.), en las otras áreas de la cuenca se encuentran especies arbóreas como Cedro (*Cedrela odorata*), Sai-Sai (*Weimannia jahni*), Ditamo Real (*Ichthyothere terminalis*), entre otras.

El clima de acuerdo al sistema de clasificación de Köppen (1948) es variable: tropical de sabana (Aw), templado con invierno seco (Cw) y templado de altura tropical (Gs). La precipitación presenta un período de lluvias de 8 meses y uno seco de 4 meses: mayo, agosto y octubre son los meses de mayor precipitación. La excepción la constituye la zona de Pico El Águila en la cual los meses secos van de junio a septiembre. La precipitación media anual fluctúa entre 627 y 996 mm; la temperatura media anual varía entre 3,1 °C y 25 °C. Los regímenes de humedad del suelo son ústico o údico y los de temperatura son isofrígido, isomésico e isotérmico (Soil Survey Staff, 2006).

Se seleccionaron 14 suelos, con base en la altitud, la geología y las zonas de vida que fueron muestreados y analizados (Cuadro 1). Los suelos estudiados abarcan variaciones muy amplias de clima, zonas de vida, altitud y materiales parentales, no se trata, en sentido estricto, de secuencias climáticas, líticas o de vegetación.

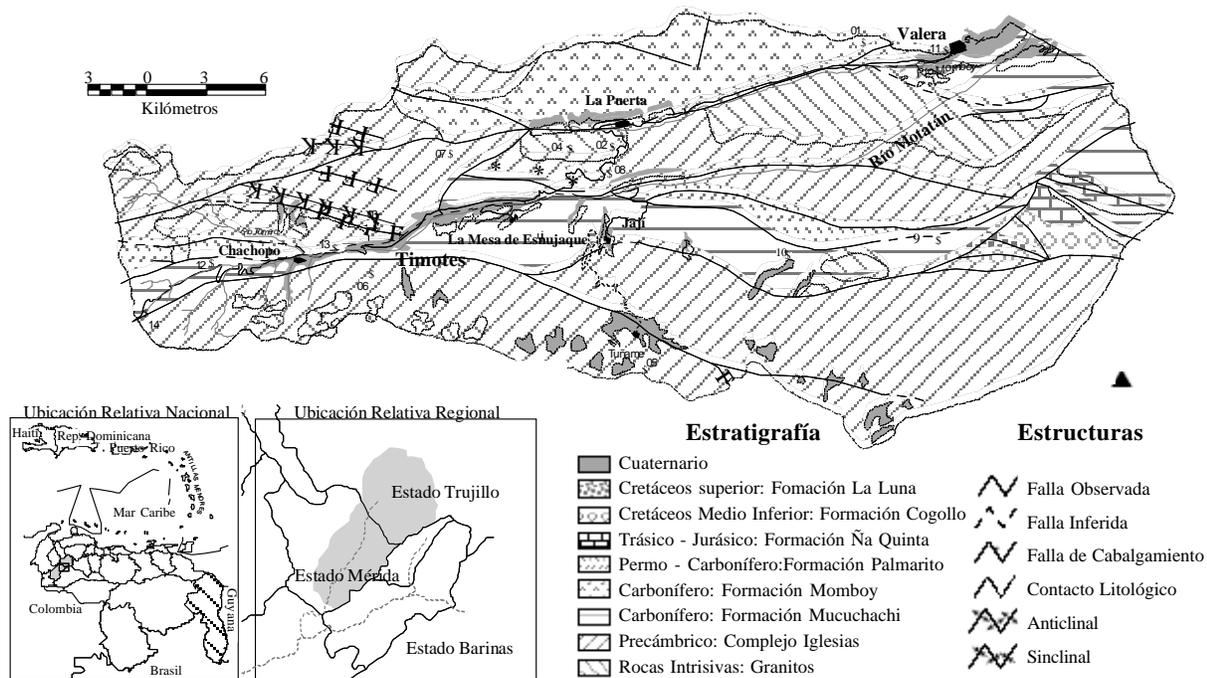


FIGURA. Geología y localización de perfiles seleccionados.

**CUADRO 1.** Características generales del medio y clasificación de los suelos de la cuenca media y alta del río Motatán.

<b>Geología</b>	<b>Zona de Vida</b>	<b>Clima</b>	<b>Altitud, Geomorfología y Pendiente</b>	<b>Perfil N° y Taxonomía</b>
Granito de Chachopo	Páramo subalpino	Gw (w")l	4 100 m. Relieve fuertemente ondulado, 65%	P13. Typic Udorthents, esquelético, mezclado, isofrígido
		Gsikn	3 890 m. Relieve ondulado, 25%	P14. Humic Dystrudepts, franco esquelético, mezclado, isofrígido
Granito de Timotes	Bosque seco montano bajo	Cw (w")bl	2 050 m. Relieve fuertemente ondulado, 40%	P7. Oxic Haplustepts, esquelético franco, mezclado, isotérmico
Granito	Bosque húmedo montano bajo	Cwb 'r'	2 100 m. Relieve fuerte ondulado, 40%	P2. Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isotérmico
Grupo Iglesias	Páramo subalpino	Gsikn	3 250 m. Relieve suavemente ondulado, 25%	P5. Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isofrígido
		Cw (w")l	2 600 m. Relieve fuerte ondulado, 40%	P3. Typic Udorthents, franco esquelético, mezclado, isotérmico
			Gw (w")l	2 520 m. Relieve fuertemente ondulado, 45%
	Bosque húmedo montano		2 540 m. Relieve ondulado, 35%	P4. Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isotérmico
		Bosque seco premontano	Cw (w")blh	1 450 m. Relieve ondulado, 40%
Form. Mucuchachí	Páramo subalpino	Gsikn	3 420 m. Relieve fuertemente ondulado, 60%	P12. Hunic Eutrudepts, franco grueso, franco fino, mezclado, isofrígido
		Cw (w")blh	1 920 m. Relieve ondulado suave, 25%	P10. Ustic Haplumults, arcilloso muy fino, ferruginoso, isotérmico
			1 680 m. Relieve fuertemente ondulado, 40%	P9. Oxic Dystrudepts, arcilloso fino, mezclado, isotérmico
	Bosque seco tropical	Aw (w")a	850 m. Relieve ondulado, 25%	P11. Typic Haplustolls, franco esquelético, mezclado, isohipertérmico
Flujo de detritus	Bosque seco premontano	Awa ih (w")	1 020 m. Relieve ondulado, 15%, perfil en sección baja	P1. Ustic Haplumults, arcilloso muy fino, ferruginoso, isohipertérmico

Las variables analizadas fueron: 1) textura: método del hidrómetro de Bouyoucos (Bouyoucos, 1962); 2) retención de humedad a 33 kPa y 1500 kPa: método olla y membrana (plato) de presión; 3) pH: determinación en agua destilada y solución de KCl 1N, método potenciométrico, relación 1:1 (Jackson, 1964); 4) carbono orgánico: método de Walkley y Black (1934); 5) nitrógeno total: método Micro-Kjeldahl (Bremner y Mulvaney, 1982); 6) fósforo disponible: método de extracción con  $\text{FNH}_4$  y HCl, procedimiento Bray y Kurtz (1945); 7) acidez intercambiable: método de Yuan (1959); 8) capacidad de intercambio catiónico: acetato de amonio 1N, pH 7 (Jackson, 1964); 9) óxidos de hierro libre: extracción por el método de ditionito-citrato-bicarbonato, se determinó el hierro por espectrofotometría, Mehra y Jackson (1960); 10) materias húmicas: método de extracción directa mediante el pirofosfato de sodio (Kaurichev *et al.*, 1984); 10) fracción arcillosa total: difractometría de Rayos X, aparato Diano-XRD 8 000 con anticátodo de cobre, y filtro de níquel, 45 kv y 35 miliamperios, tratamientos con catión de saturación (K o Mg), glicerol como agente solvatante y calentamiento a 550 °C.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características físicas y químicas de los suelos estudiados

Los 14 suelos (Cuadro 1) fueron clasificados a nivel de familia de acuerdo con Soil Survey Staff (2006).

Las principales características físicas y químicas de los perfiles estudiados (Cuadro 2) permiten hacer las siguientes inferencias:

a) La textura de los suelos varía en los rangos franco arenoso, franco arcilloso arenoso, franco arcilloso y arcilloso. Se observa un aumento de la fracción arcilla inversamente proporcional a la altitud y directo con la temperatura. No obstante, la presencia de materiales provenientes de la alteración de las rocas de la formación Mucuchachí parece incidir notablemente sobre esta característica, especialmente en los horizontes A donde la alteración es mayor. En los suelos desarrollados sobre materiales del Complejo Iglesias se observa un aumento de la fracción arcilla a medida que aumenta la temperatura edáfica. Estos valores se corresponden a los encontrados por Malagón (1982), Sosa *et al.* (1997) y Manrique *et al.* (1997) para la parte más alta de la cuenca, este último afirma que la presencia de partículas finas es el producto del desgaste del material por la fricción de las lenguas glaciales o a las intrusiones de materiales

finos de otras formaciones, o una facie sedimentaria que se acuñó al Complejo Iglesias.

b) La humedad retenida entre 33 kPa y 1 500 kPa tomada en términos globales como humedad aprovechable por las plantas, se ubica en 3 rangos de acuerdo con la textura del suelo: textura fina: 14,8%; textura media: 10,3%; textura gruesa: 8,6%.

c) Características relacionadas con el pH de los suelos. En general los suelos desarrollados sobre materiales del Complejo Iglesias presentan mayor acidez (rango muy ácido a ligeramente ácido) que los desarrollados sobre la Formación Mucuchachí. En esta última influye la variabilidad de su composición mineralógica (incluye materiales calcáreos), pudiéndose o no presentar su efecto sobre el pH, lo cual concuerda con lo encontrado por Ochoa *et al.* (2004), Manrique *et al.* (1997), Sosa *et al.* (1997) y Malagón, (1982) en la cuenca del Santo Domingo.

Las diferencias entre el pH, medido en agua y en KCl, indican una alta acidez potencial; en algunos casos (Perfiles 3, 4, 6, 7, 8, 12, 13 y 14) las diferencias son mayores a la unidad, constituyendo casos extremos de acidez potencial.

La acidez de cambio ( $\text{Al}^{3+}$  más  $\text{H}^+$ ) es muy alta en todos los suelos (excepto perfiles 11 y 12, horizonte A). Valores similares han sido presentados para suelos de la cuenca del Santo Domingo por Manrique *et al.* (1997) y Sosa *et al.* (1997) y para los suelos de la cuenca del Motatán por Ochoa y Marante (1983). Ochoa *et al.* (1995), estudiaron los suelos de la cuenca del río Torbes en el estado Táchira encontrando que no hay una relación clara en cuanto a la acidez cambiante con los tipos de arcilla, lo cual los induce a pensar que estos suelos están influenciados por la naturaleza de la roca madre, e igualmente señalan que los suelos de débil evolución (Entisoles, Inceptisoles, Mollisoles) presentan valores inferiores a los evolucionados (Ultisoles).

Se observan valores normales de relación Ca/Mg, acordes con los valores de acidez del medio, y sólo se exceptúan algunos perfiles sobre la Formación Mucuchachí, en los cuales el contenido de Mg es mayor con respecto al Ca. Los contenidos de calcio son mayores en los horizontes superficiales que en los de profundidad, se excluyen los suelos desarrollados sobre materiales de influencia calcárea. El mismo fenómeno se presenta en el caso del K. Los niveles de Na de intercambio son bajos aún en suelos de alta saturación de cationes.

**CUADRO 2.** Características físicas y químicas de los suelos de la cuenca media y alta del Río Motatán.

Perfil Nº	Profund. (cm) Horiz.	Granulometría (%)			Clase Textural	Ret. de humedad (%)		pH 1:1		CE 1:6 dS m <sup>-1</sup>	CO	NT %	C/N	P mg kg <sup>-1</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H + Al	Ca	Mg cmol kg <sup>-1</sup>	Na	K	SB %	SBsc	CIC cmol kg <sup>-1</sup>	CICA* cmol kg <sup>-1</sup>
		a	L	A		33kPa	1500 kPa	Agua	KCl															
P1	0-14 (A)	11,6	12,3	76,2	A	48,0	34,7	4,5	3,5	0,10	2,34	0,28	8,4	2,80	15,27	9,02	6,50	1,50	0,07	0,60	36,35	49,0	23,85	23,22
	14-46 (B <sub>t1</sub> )	10,0	6,2	83,7	A	47,5	35,9	4,8	3,5	0,05	1,00	0,16	6,3	1,41	17,22	15,01	2,05	1,11	0,05	0,30	13,49	19,0	26,02	22,12
	46-120 (B <sub>t2</sub> )	19,8	18,3	61,9	A	37,8	4,1	5,3	4,1	0,06	1,04	0,14	7,4	4,21	19,73	6,30	7,50	0,94	0,06	0,21	58,42	58,0	14,91	24,27
P2	0-27 (A)	49,6	22,4	28,1	FAa	31,1	17,1	5,0	4,0	0,04	6,51	0,24	27,1	4,90	4,30	9,00	0,31	0,11	0,03	0,10	5,05	5,8	10,90	34,05
	27-60 (C <sub>1</sub> )	60,1	28,3	11,6	Fa	20,4	7,2	5,4	4,4	0,03	0,91	0,04	22,8	30,10	1,79	4,10	0,05	0,03	0,03	0,01	3,12	2,8	3,85	36,29
	60-110 (C <sub>2</sub> )	67,8	22,4	9,9	Fa	16,2	5,2	5,5	4,3	0,03	0,35	0,02	17,5	33,60	2,54	4,10	0,05	0,02	0,04	0,01	3,24	2,8	3,70	42,71
P3	0-18 (A)	72,0	24,1	3,9	Fa	12,1	6,0	5,9	4,0	0,04	0,43	0,05	8,6	25,20	3,59	4,10	2,25	0,15	0,18	0,09	42,72	39,4	6,25	174,94
	18-80 (C <sub>1</sub> )	60,3	28,0	11,6	Fa	23,1	13,0	5,4	4,0	0,06	2,96	0,25	11,8	33,60	4,28	7,60	2,15	0,48	0,19	0,67	31,73	31,5	11,0	95,27
P4	0-35 (A)	69,8	26,0	14,2	Fa	20,0	12,1	5,7	4,2	0,03	2,92	0,16	18,3	46,20	3,18	4,10	2,35	0,55	0,17	0,20	43,60	44,4	7,50	51,90
	35-103 (C <sub>1</sub> )	73,5	10,7	15,8	Fa	13,3	7,0	6,5	4,3	0,03	0,44	0,03	14,7	93,80	1,03	4,10	0,85	0,15	0,26	0,09	36,00	24,8	3,75	34,45
	103-150 (C <sub>2</sub> )	87,7	10,3	20,7	a	7,8	4,7	6,6	3,7	0,03	0,15	0,02	7,5	33,60	3,11	2,00	0,65	0,55	0,25	0,13	41,58	44,1	3,80	172,95
P5	0-31 (A)	44,3	32,1	23,6	F	34,5	23,5	4,9	3,9	0,08	4,79	0,28	17,1	2,10	7,42	9,01	0,46	0,24	0,16	0,41	12,39	12,4	10,25	43,56
	31-80 (C1)	71,7	20,4	7,9	Fa	21,8	12,9	5,0	4,0	0,03	0,20	0,04	5,0	0,70	5,75	6,30	0,20	0,09	0,15	0,16	8,05	8,7	7,45	87,90
	80-135 (C2)	47,8	40,7	11,7	F	42,5	25,3	4,9	3,9	0,04	0,05	0,01	5,0	0,00	17,49	12,00	0,05	0,10	0,02	0,07	1,68	2,0	14,25	106,53
P6	0-30 (A)	55,8	32,6	11,6	Fa	31,5	23,0	5,0	3,9	0,05	5,35	0,29	18,5	1,40	10,37	12,00	0,50	0,15	0,18	0,20	7,49	7,9	13,75	112,81
	30-50 (C <sub>1</sub> )	51,9	22,4	25,7	FAa	22,6	16,0	5,5	4,1	0,03	0,67	0,16	4,2	6,30	8,17	6,30	0,20	0,08	0,16	0,07	11,33	7,5	4,50	26,50
	50-100 (C <sub>2</sub> )	67,7	20,5	11,8	Fa	20,5	10,9	5,9	4,3	0,03	0,15	0,02	7,5	103,60	1,54	3,00	0,20	0,07	0,13	0,03	28,67	12,5	1,50	29,07
P7	0-30 (A <sub>1</sub> )	68,8	6,2	25,0	FAa	20,5	10,3	6,1	4,9	0,14	3,16	0,27	11,7	35,70	3,75	4,10	0,55	2,86	0,17	0,41	72,55	49,3	5,50	32,36
	30-60 (A <sub>2</sub> )	55,7	14,9	29,3	FAa	19,4	13,5	5,7	4,2	0,13	1,80	0,14	12,9	19,60	6,23	4,10	0,50	2,03	0,16	0,16	60,00	41,0	4,75	23,69
	60-145 (C <sub>1</sub> )	57,0	24,0	19,1	Fa	19,6	7,9	6,6	5,0	0,08	0,15	0,02	7,5	59,50	4,02	2,00	0,40	2,11	0,19	0,23	83,71	59,4	3,50	25,81

CICA: CIC de la arcilla estimada según fórmula. CICA = (Suma de cationes/% Arcilla)\*100.

.../...continúa

./... continuación CUADRO 2

Perfil N°	Profund. (cm) Horiz.	Granulometría (%)			Clase Textural	Ret. de humedad (%)		pH 1:1		CE 1:6 dS m <sup>-1</sup>	CO	NT	C/N	P mg kg <sup>-1</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H + Al	Ca	Mg cmol kg <sup>-1</sup>	Na	K	SB	SBsc	CIC	CICA*
		a	L	A		33kPa	1500 kPa	Agua	KCI															
P8	0-50 (A)	60,1	18,4	21,5	FAa	16,1	9,9	6,5	5,2	0,14	2,85	0,26	11,0	18,50	5,19	2,00	0,95	1,99	0,18	0,17	57,22	62,2	5,75	24,63
	50-95(C)	55,6	19,6	24,8	FAa	14,6	9,3	6,2	5,4	0,11	0,91	0,12	7,6	18,20	5,58	2,00	1,00	3,81	0,26	0,13	86,67	72,2	6,00	29,04
P9	0-17 (A)	28,3	34,0	37,7	FA	29,2	14,4	5,2	4,1	0,05	2,27	0,14	16,2	1,40	12,91	4,10	0,40	1,11	0,04	0,07	21,74	28,3	7,45	15,17
	17-48 (Bw <sub>1</sub> )	18,0	36,2	45,8	A	27,4	14,4	4,9	3,8	0,05	1,11	0,11	10,1	0,00	15,36	6,30	0,15	0,29	0,03	0,04	7,85	7,5	6,50	14,89
	48-89 (Bw <sub>2</sub> )	17,9	34,3	47,8	A	28,6	14,2	5,1	3,9	0,04	0,45	0,09	5,0	1,75	16,31	4,10	0,55	0,07	0,03	0,02	12,07	14,0	5,55	9,97
P10	0-16 (A)	13,8	28,6	57,7	A	43,4	28,8	5,0	4,0	0,06	5,60	0,28	20,0	0,35	18,92	9,00	0,76	0,49	0,03	0,27	11,36	14,7	13,65	18,30
	16-75 (Bt)	11,8	22,1	66,1	A	32,0	24,4	5,2	4,2	0,04	1,56	0,12	13,0	0,70	18,41	6,30	0,05	0,46	0,03	0,02	7,37	8,2	7,60	10,39
	75-100 (C)	29,8	22,0	48,2	A	32,1	10,7	5,2	4,1	0,04	0,65	0,10	5,5	4,50	13,63	4,10	0,04	0,02	0,02	0,04	2,31	2,8	5,20	8,75
P11	0-27 (A)	64,0	10,1	25,9	FAa	16,0	9,8	7,6	6,8	0,07	1,56	0,11	14,2	1,75	9,43	0,00	9,33	0,36	0,02	0,16	100,0	100,0	8,50	38,15
	27-60 (Bw <sub>1</sub> )	61,8	10,5	27,8	FAa	13,7	9,5	8,1	7,2	0,12	0,25	0,04	6,3	1,40	11,17	0,00	8,72	0,15	0,02	0,18	100,0	100,0	6,20	32,66
	60-95 (Bw <sub>2</sub> )	61,6	10,4	28,1	FAa	14,3	8,9	8,2	7,2	0,10	0,35	0,03	11,7	1,75	12,08	0,00	15,54	0,19	0,01	0,13	100,0	100,0	6,35	56,54
P12	0-38 (A)	43,7	28,2	28,1	FA	31,1	16,8	7,1	6,1	0,09	4,57	0,35	13,1	11,20	9,73	0,00	9,15	0,79	0,03	0,25	100,00	100,0	5,60	36,34
	38-64 (C <sub>1</sub> )	63,5	18,3	18,3	Fa	13,6	6,8	5,7	4,2	0,04	0,58	0,07	8,3	5,95	5,64	2,00	2,00	0,36	0,03	0,09	88,57	55,4	2,80	24,55
	64-93 (C <sub>2</sub> )	67,5	20,5	12,0	Fa	11,9	6,0	5,6	4,0	0,02	0,58	0,15	3,9	8,40	5,71	4,10	1,25	0,26	0,03	0,06	84,21	28,1	1,90	47,70
P13	0-11 (A)	63,6	12,6	23,8	Fa	20,3	8,2	5,4	4,1	0,05	3,41	0,22	15,5	28,70	3,49	6,30	1,50	0,35	0,11	0,22	76,49	25,7	2,85	35,60
	11-40 (C <sub>1</sub> )	73,6	18,2	8,2	Fa	13,0	4,6	5,8	4,4	0,03	0,72	0,06	12,0	38,15	2,65	2,00	0,40	0,11	0,10	0,15	95,00	27,5	0,80	33,58
P14	0-34 (A)	50,0	28,1	21,8	FAa-F	44,2	25,5	4,6	4,1	0,08	9,37	0,66	14,2	0,35	5,71	5,00	0,20	0,13	0,06	0,15	7,15	9,7	7,55	25,38
	34-60 (C <sub>1</sub> )	65,7	24,5	9,8	Fa	15,9	4,6	5,7	4,5	0,02	0,82	0,04	20,5	17,50	1,71	3,00	0,20	0,05	0,03	0,06	21,25	10,2	1,60	34,05
	60-90 (C <sub>2</sub> )	69,5	20,4	10,0	Fa	14,9	4,6	4,4	4,5	0,03	0,82	0,04	20,5	12,25	1,44	2,00	0,20	0,04	0,03	0,06	26,40	14,2	1,25	23,21

CICA: CIC de la arcilla estimada según formula. CICA = (Suma de cationes/% Arcilla)\*100.

Los contenidos de Ca se encuentran en los rangos bajos a medios, excepto en los perfiles 11, 12 y 14 donde son altos. El Mg salvo el caso ya comentado de los perfiles 7, 8 y 9, donde Mg supera a Ca, presenta contenidos bajos y medios.

La saturación de bases varía acorde con parámetros ya discutidos, entre los principales pH y acidez de cambio, siendo baja en los perfiles 2, 5, 6 y 10, muy alta en los perfiles 7, 8, 11, 12 y 14 mediana-alta en los demás.

d) Capacidad de intercambio de cationes. En general se observan valores bajos para los horizontes subsuperficiales y en los horizontes A aumentan a rangos de bajos a medios. La estimación de la capacidad de intercambio basados en la suma de los cationes básicos y la acidez de cambio se relaciona bastante bien con la determinada por el método del acetato de amonio (excepto perfiles 12, 13 y 14).

La composición mineralógica de la fracción arcilla (especialmente para los horizontes subsuperficiales) y el porcentaje de arcilla son dos factores importantes para su interpretación. En los horizontes de superficie el contenido y tipo de humus explican, además, esta característica.

El alto contenido de materia orgánica en los horizontes A (perfiles 2, 5, 6, 4, 12, 14, 13, 9 y 10) no se relaciona con la capacidad de cambio, la explicación más razonable parece corresponder al bajo grado de humificación que presenta la misma. Este aspecto se relaciona ampliamente con la clasificación que se hace del humus ya que en muchos perfiles se presentan restos no incorporados de materiales orgánicos y, en consecuencia, humificación incipiente con poco desarrollo de los grupos funcionales asociados al fenómeno del intercambio iónico.

La capacidad de intercambio catiónico estimada para la fracción arcilla, por suma de cationes, indica valores dominantes en el rango 20-40  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , con ciertos valores muy altos (superiores a 100  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , perfiles 3, 4 5 y 6) o bajos (inferiores a 20  $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$ , Perfiles 9 y 10).

La interpretación para los valores de capacidad de intercambio catiónico muy altos puede verse afectada por los bajos contenidos de arcilla (2, 4 y 12), por lo que la estimación pierde validez ya que ni por los valores de pH ni por la determinación mineralógica en la fracción arcilla pueden inferirse compuestos de alta capacidad

de intercambio. En los demás casos, la presencia de minerales 2:1 (vermiculita, esmectita) e interstratificados y productos intermedios mica-vermiculita-clorita, podrían ser los responsables de dichos valores.

e) Los valores de conductividad eléctrica indican que el nivel de salinidad es muy bajo a bajo en todos los suelos, presentándose sólo casos aislados (Perfiles 7 y 8) con valores que se encuentran en la transición de bajos a medianos.

f) El nivel de fósforo aprovechable por las plantas es variable, valores altos en los perfiles 3, 4, 18 y 14; medianos en el perfil 8 y horizontes subsuperficiales del perfil 13 y bajos en los demás. Los valores altos tienden a presentarse en suelos con pH ligeramente ácido, a valores de pH por encima de 7,6 (Perfil 11) o inferior a 5,4, los valores de fósforo disminuye notablemente.

g) Los óxidos libres de hierro varían entre 1-19%, los valores más altos (rango 12,9-18,5 % en perfiles 1, 9 y 10) se observan en los horizontes con valores de pH promedio de 5,05. Los valores intermedios (9,4 y 12,1%) en los perfiles 11 y 12 (Horizontes A) con valores de pH superiores a 7,1 (7,1-8,2). Los valores bajos (1-7%) en el resto de los perfiles con valores de pH en el rango 4,4-6,6 y promedio de 5,6.

Es importante destacar que los máximos contenidos de óxidos libres ocurren a altitudes inferiores a 2 000 m, en suelos con mayor grado de evolución (Ultisoles y un Inceptisol con horizontes ABwC). Estos valores contrastan con los obtenidos por Oballos y Ochoa (1996) para la cuenca del río Capaz, estado Mérida, en cuanto a que no presentan diferencias entre los suelos poco evolucionados y los evolucionados.

En sus trabajos, Oballos (1995), señala que 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.

Los suelos desarrollados sobre la Formación Mucuchachí presentan en general altos contenidos de óxidos libres que se ven afectados por la altitud a la cual se desarrollan, pero sus valores disminuyen cuando sobrepasan los 2 500m. Resultados similares han sido señalados por Sosa *et al.* (1997), para suelos ubicados a alturas superiores a 2 600 m.s.n.m., en la cuenca del Santo Domingo y por Ochoa y Marante (1983) para suelos ubicados en la cuenca del Motatán.

## Caracterización del Humus

De acuerdo con datos presentados en el Cuadro 3 y la información de campo, las características y clasificación del tipo humus (Duchaufour, 1977) pueden interpretarse de la manera siguiente:

a. La clasificación bioquímica y ecológica del humus integra las características de evolución húmica en un contexto global asociado a los factores evolutivos de los suelos. Según los parámetros indicados por Duchaufour (1977) el tipo predominante de humus se encuentra en el rango moder-mull, es decir constituye un tipo de humus indicativo de evolución orgánica parcial (moder) o asociada ya sea con influencia bioclimática (mull chernozémico) o de predominio biológico (mull ácido y mull eutrofo). No obstante, es importante aclarar que en varios casos la clasificación es aproximada debido al nivel de análisis y aparente contradicción en algunos criterios (relación C/N *vs.* relación AF/AH). Los humus tipo Mull ácido y Mull eutrofo indican proporciones débiles de materiales orgánicos poco transformados y de humina heredada, esta última se relaciona con compuestos húmicos de insolubilización y poco móviles. El predominio de la humificación biológica es acentuado y la relación C/N fluctúa en valores cercanos al rango 10 - 15.

A alturas superiores a 1 900-2 000 m, hasta las máximas de 4 100 m, los suelos que presentan alta acidez, baja saturación y relación C/N alta (17 - 27) tienen un humus transicional entre el Mull ácido y el Moder, o Moder como tal, en este último la evolución es baja y la incorporación de la materia orgánica es limitada.

El máximo grado de evolución bioclimática corresponde al suelo estudiado a menor altitud (850 m.s.n.m.), con un Mull chernozémico, en el cual la saturación de cationes básicos, la relación C/N, AF/AH y el clima estacional han inducido una mayor estabilidad, evolución y polimerización de sus integrantes.

b. En los componentes fraccionados del humus predomina la humina, fracción que puede variar en evolución desde la correspondiente a herencia del material original hasta aquellos de mayor evolución y síntesis biológica. Este parámetro se toma en cuenta, a la vez que la relación AF/AH, para la caracterización húmica.

c. Las relaciones estudiadas entre algunos parámetros utilizados para caracterizar el tipo de humus pueden resumirse así:

- No se observa relación entre AF/AH y el pH de los horizontes superficiales de los suelos estudiados.

- Se observa una tendencia a aumentar la relación AF/AH a medida que aumenta la relación C/N.
- Otras relaciones (altitud *vs.*, relación C/N o clima *vs.*, relación C/N) no son claras, observándose tan sólo tendencias a aumentar el valor de la relación C/N con la altitud, hasta aproximadamente los 2 500 m de altitud.

d. El efecto de la composición de los materiales húmicos sobre la génesis y evolución de los suelos depende tanto de la relación AF/AH como del tipo de humina y medio químico donde evoluciona, valores altos en la relación AF/AH, humina de herencia y pH ácido favorecen los fenómenos de transferencias y alteración química, condiciones opuestas aumentan la estabilidad, permanencia y complejidad de las reacciones arcillo-húmicas.

En los suelos estudiados se presentan condiciones variables de estos parámetros pues las relaciones comentadas tienen rangos amplios de manifestación, así: el Perfil 11 (Haplustol) presenta saturación de bases muy alta, pH neutro a básico y relaciones AF/AH con valores de 1,0, su evolución será diferente, en los aspectos comentados, a la presente en perfiles 1 y 10 (Haplohumult) y 13 (Dystrudepts), donde el medio es ácido, la saturación de bases baja y las relaciones AF/AH presentan valores muy altos en horizontes B y C (perfil 13) o en Ah y Bt (perfiles 1 y 10).

e. Con base en la mineralogía presente, especialmente dentro de la fracción arcilla, se estima que la formación de complejos órgano-minerales (arcillosos) es baja, no obstante puede presentarse a nivel del aluminio de cambio y de algunos óxidos libres de hierro.

## Mineralogía de la fracción arcilla

Los resultados más sobresalientes de la mineralogía de la fracción arcilla se presentan en el Cuadro 4. Del análisis se tiene que:

a. Existen diferencias marcadas en la mineralogía de la fracción arcilla de los suelos. Estas diferencias se asocian con el grado evolutivo, el material parental y la altitud-pendiente-clima.

b. Los suelos ubicados a altitudes inferiores a 1 000 m.s.n.m., presentan un predominio de caolinita, independiente del material parental, grado de desarrollo (Ultisol, Inceptisol o Molisol), pH y tipo de humus.

**CUADRO 3.** Caracterización del humus mediante parámetros bioquímicos y ecológicos de los suelos de la cuenca media y alta del río Motatán.

Perfil N°	Prof. (cm) Horiz.	Altitud (m.s.n.m.)	Estimación* actividad biológica	AF/AH	Humina	pH 1:1	C/N (%)	SB	Tipos de humus Duchaufour
P1	0-14 (A)	1 020	Mediana	4,3	79,4	4,5	8,4	36,4	Mull ácido a moder
	14-46 (B <sub>t1</sub> )			8,5	81,0	4,8	6,3	13,5	
	46-120 (2B <sub>t2</sub> )			0,9	74,0	5,3	7,4	58,4	
P2	0-27 (A)	2 100	Mod. baja a baja	1,1	65,4	5,0	27,1	5,0	Moder
	27-60 (C <sub>1</sub> )			6,3	75,8	5,4	22,8	3,1	
	60-110 (C <sub>2</sub> )			9,0	71,4	5,5	17,5	3,2	
P3	0-18 (A)	2 600	Med. a mod. alta	4,3	51,1	5,9	8,6	42,7	Mull eutrofo a mull ácido
	18-80 (C)			2,9	62,8	5,4	11,8	31,7	
P4	0-35 (A)	2 540	Mod. baja	1,1	69,9	5,7	18,3	43,6	Mull eutrofo a mull ácido
	35-103 (C <sub>1</sub> )			1,0	72,7	6,5	14,7	36,0	
	103-150 (C <sub>2</sub> )			0,3	73,3	6,6	7,5	41,6	
P5	0-31 (A)	3 250	Baja	1,6	46,0	4,9	17,1	12,4	Moder a mull ácido
	31-80 (C <sub>1</sub> )			0,8	65,0	5,0	5,0	8,1	
	80-135 (C <sub>2</sub> )			0,0	0,0	4,9	5,0	1,7	
P6	0-30 (A)	2 520	Mod. baja a baja	0,5	59,2	5,0	18,5	7,5	Moder a mull ácido
	30-50 (C <sub>1</sub> )			1,4	49,2	5,5	4,5	11,3	
	50-100 (C <sub>2</sub> )			9,0	33,3	5,9	7,5	28,7	
P7	0-30 (A <sub>1</sub> )	2 500	Mod. alta	1,0	87,9	6,1	11,7	72,5	Mull eutrofo
	30-60 (A <sub>2</sub> )			0,2	76,1	5,7	12,9	60,0	
	60-145 (C <sub>1</sub> )			2,0	80,0	6,6	7,5	83,7	
P8	0-50 (A)	1 450	Alta	0,6	93,8	6,5	11,0	57,2	Mull eutrofo
	50-95 (C)			0,8	82,4	6,2	7,6	86,7	
P9	0-17 (A)	2 680	Mediana	1,1	85,9	5,2	16,2	21,7	Mull eutrofo
	17-48 (B <sub>w1</sub> )			6,7	79,3	4,9	10,1	7,9	
	48-89 (B <sub>w2</sub> )			6,0	84,4	5,1	5,0	12,1	
P10	0-16 (A)	1 920	Mod. baja	6,7	67,1	5,0	20,0	11,4	Moder
	16-75 (B <sub>t</sub> )			2,6	58,3	5,2	13,0	7,4	
	75-100 (C)			6,0	78,4	5,2	5,5	2,3	
P11	0-27 (A)	850	Alta	1,1	86,5	7,6	14,2	100	Mull chemozénico
	27-60 (B <sub>w1</sub> )			1,0	84,0	8,1	6,3	100	
	60-95 (B <sub>w2</sub> )			0,0	97,1	8,2	11,7	100	
P12	0-38 (A)	3 420	Mod. baja	1,1	77,6	7,1	13,1	100	Mull eutrofo
	38-64 (C <sub>1</sub> )			1,0	86,2	5,7	8,3	88,6	
	64-93 (C <sub>2</sub> )			3,0	86,2	5,6	3,9	84,2	
P13	0-11 (A)	2 510	Mediana	0,1	74,2	5,4	15,5	76,5	Mull eutrofo a mull ácido
	11-40 (C <sub>1</sub> )			3,3	76,3	5,8	12,0	95,0	
P14	0-34 (A <sub>1</sub> )	3 890	Baja	0,2	43,9	4,6	14,2	72,5	Moder
	34-60 (A <sub>2</sub> )			10,3	58,5	5,7	20,5	60,0	
	60-90 (C <sub>1</sub> )			15,5	59,7	4,4	20,5	83,7	

\* Actividad biológica con base al clima del suelo (cualitativa) estimada como alta, mediana, baja, etc. Se estima a partir de los organismos observados en el suelo y el producto de sus actividades.

**CUADRO 4.** Características generales del medio y clasificación de los suelos de la cuenca media y alta del río Motatán.

Perfil N° Altitud (m)	Prof. (cm) Horizontes	Mineralogía <sup>1</sup> y estimación de abundancia <sup>2</sup>	Clasificación
P1 1020	0-14 (A) 14-46 (Bt <sub>1</sub> ) 46-120 (2Bt <sub>2</sub> )	$C^{+4} > V(Cl)^{+2} > M$ y Cz	Ustic Haplumults, arcilloso muy fino, ferruginoso, isohipertérmico
P2 2100	0-27 (A) 27-60 (C <sub>1</sub> ) 60-110 (C <sub>2</sub> )	A: Difracciones mal definidas, amplia base y baja intensidad, se reconocen materiales vermiculíticos. C1: Materiales 5.1 - 5.2 Å > V(Cl) <sup>+</sup> , M <sup>+</sup> , Cz <sup>+</sup> C2: Materiales 5.1 Å, V(Cl) <sup>+4</sup> > M <sup>+2</sup> > C <sup>+</sup>	Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isotérmico
P3 2600	0-18 (A) 18-80 (C <sub>1</sub> )	$Cl^{+4} > C^{+3} > M, Cz^{+2}$	Typic Udorthents, franco esquelético, mezclado, isotérmico
P4 2540	0-35 (A) 35-103 (C <sub>1</sub> ) 103-150 (C <sub>2</sub> )	A y C1: $Cl^{+4} > C^{+2} > M^{+} > Cz^{+}$ C2: $Cl^{+4} > C^{+2} > M^{+} > Cz$ Roca madre: Cz, F y M	Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isotérmico
P5 3250	0-31 (A) 31-80 (C <sub>1</sub> ) 80-135 (C <sub>2</sub> )	A: $C^{+4} > M, Cz, ET (M-V)^{+2} > V^{tr}$ C1: $Cl^{+4} > C^{+2} > M^{+} > Cz$ C2: $E^{+4} > C^{+3} > ET (E-V, Cl)$ Roca madre: Cz, M, C y alteraciones ET (28 Å)	Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isofrígido
P6 2520	0-30 (A) 30-50 (C <sub>1</sub> ) 50-100 (C <sub>2</sub> )	A: Baja intensidad de difracciones, presencia de Cz, V(Cl), trazas de C y M, posibilidad de G C1: $G(?)^{+4} > Cz^{+2} > V^{+}, M^{+}, C^{+}$ C2: Cz, $G(?) > C > V(Cl)$ Roca madre: M, Cz, alteraciones ET (28 Å), materiales 14 Å, trazas C.	Humic Dystrudepts, franco grueso, mezclado, isoméxico
P7 2050	0-30 (A <sub>1</sub> ) 30-60 (A <sub>2</sub> ) 60-145 (C <sub>1</sub> )	Perfil homogéneo en mineralogía $M^{+4} > Cz^{+3} > C^{+2} > V^{tr}$	Oxic Haplustepts, esquelético franco, mezclado, isotérmico
P8 1450	0-50 (A) 50-95 (C)	A: $M, Cz^{+4} > C^{+2} > V^{+}$ C: $M, Cz, C^{+4} > V(Cl)^{+3}$	Oxic Dystrustepts, esquelético franco, mezclado, isotérmico
P9 2680	0-17 (A) 17-48 (Bw <sub>1</sub> ) 48-89 (Bw <sub>2</sub> )	A: $M, Cz^{+4} > C^{+2} > V(Cl)^{+}$ Bw1: $M, V(Cl), Cz^{+4} > C^{+3}$ Bw2: $M^{+4} > Cz^{+3} > C, V^{+2}$	Oxic Dystrustepts, arcilloso fino, mezclado, isotérmico

<sup>1</sup> Cz: Cuarzo; C: Caolinita; M: Mica-ilita; E: Esmectita; V: Vermiculita; V(Cl): vermiculita parcialmente cloritizada; Cl: Clorita; F: Feldespatos; ET: Interestratificados; G: Gibsita.

<sup>2</sup> <sup>+</sup>: Muy abundante; <sup>+</sup><sup>3</sup>: Abundante; <sup>+</sup><sup>2</sup>: Común; <sup>+</sup><sup>1</sup>: Presencia; <sup>tr</sup>: Trazas

../... continúa

./...continuación CUADRO 4

Perfil N° Altitud (m)	Prof. (cm) Horizontes	Mineralogía <sup>1</sup> y estimación de abundancia <sup>2</sup>	Clasificación
P10 1920	0-16 (A) 16-75 (Bt) 75-100 (C)	A: Difracciones poco intensas. V(Cl) > Cz, C Bt: V(Cl), Cz <sup>+4</sup> > M <sup>+2</sup> > C+ > Cl <sup>tr</sup> C: V(Cl), C <sup>+4</sup> > Cz, M <sup>+3</sup>	Ustic Haplumults, arcilloso muy fino, ferruginoso, isotérmico
P11 850	0-27 (A) 27-60 (Bw <sub>1</sub> ) 60-95 (Bw <sub>2</sub> )	C <sup>+4</sup> > M, Cz, V(Bw <sub>2</sub> ) > V(Cl)	Typic Haplustolls, franco esquelético, mezclado, isohipertérmico
P12 3420	0-38 (A) 38-64 (C <sub>1</sub> ) 64-93 (C <sub>2</sub> )	M <sup>+4</sup> > Cz <sup>+3</sup> > C <sup>+2</sup> , V(Cl) <sup>+2</sup> , V(C <sub>2</sub> ) <sup>+2</sup>	Humic Eutrudepts, franco grueso-franco fino, mezclado, isofrígido
P13 2510	0-11 (A) 11-40 (C <sub>1</sub> )	A: M, Cz, C, V(Cl): iguales cantidades relativas C: M <sup>+4</sup> > Cz <sup>+2</sup> > C, V(Cl) <sup>+2</sup>	Typic Udorthents, esquelético, mezclado, isofrígido
P14 3890	0-34 (A) 34-60 (C <sub>1</sub> ) 60-90 (C <sub>2</sub> )	A: Materiales cloríticos > C, Cz, M C <sub>1</sub> y C <sub>2</sub> : C, M <sup>+4</sup> > Cz <sup>+3</sup> , Cl <sup>+3</sup> > ET (M-V) <sup>+</sup>	Humic Dystrudepts, franco esquelético, mezclado, isofrígido

<sup>1</sup> Cz: Cuarzo; C: Caolinita; M: Mica-ilita; E: Esmectita; V: Vermiculita; V(Cl): vermiculita parcialmente cloritizada; Cl: Clorita; F: Feldespatos; ET: Interestratificados; G: Gibsita.

<sup>2</sup> <sup>+4</sup>: Muy abundante; <sup>+3</sup>: Abundante; <sup>+2</sup>: Común; <sup>+1</sup>: Presencia; <sup>tr</sup>: Trazas

En los suelos formados sobre materiales de la formación Mucuchachí (Inceptisoles, Molisoles), el contenido de caolinita se asocia más con herencia que con síntesis; el resto de minerales presentes, productos de alteración micácea (vermiculita-clorita o vermiculita) son asociados a la evolución pedológica. Resultados similares fueron encontrados por Ochoa y Malagón (1979).

c. Los suelos desarrollados a alturas superiores a 3 200 m.s.n.m., presentan una composición mineralógica variable, aún dentro de perfiles específicos, varía su composición. Las especies predominantes son mica, caolinita, cuarzo y materiales cloríticos o transicionales entre micas y arcillas (hidromicas). La caolinita presenta tendencia a aumentar en los horizontes superficiales. Resultados similares fueron encontrados por Ochoa y Malagón (1979) y Malagón (1982).

Estos suelos presentan un grado de evolución mineralógica importante si se consideran las condiciones de baja temperatura debidas a la altitud, no obstante parece ser que la precipitación (850,8 mm de precipitación y

471,5 mm de EVT) favorece el proceso ayudado por mecanismos físicos que, como la gelifracción, fomentan o aumentan la superficie específica incrementando la oportunidad de alteración mineral. En general las condiciones de alta acidez favorecen las condiciones para una mayor síntesis de caolinita. Los grupos interestratificados, transiciones vermiculita-clorita y esmectitas pueden considerarse relacionados a la alteración micácea, en especial de biotita, heredándose su estructura fundamentalmente. Para la colinita el grado de ordenamiento y definición cristalina es variable (varía desde alta hasta baja simetría en sus difracciones) algo similar ocurre con las micas, aumentando su simetría e intensidad con la profundidad. Estas especies se corresponden con las encontradas por Ochoa y Malagón (1979) y Malagón (1982).

d. Suelos ubicados en altitudes intermedias (1 000-3 200 m.s.n.m.) manifiestan una amplia gama de minerales en su fracción arcillosa, abundan mica, cuarzo, materiales cloríticos o transicionales (vermiculita-clorita) y caolinita. La abundancia de caolinita tiende a

disminuir si se compara los suelos ubicados en las zonas más bajas. Otros minerales menos conspicuos son vermiculita y gibsita (Perfil 6). Las características relacionadas con el grado de cristalinidad y ordenamiento son variables, no obstante se aprecia que, por ejemplo, la caolinita tiende a manifestar grados de ordenamiento cristalino por lo general medianos-bajos exceptuándose los Perfiles 8 y 10 donde se consideran como altos (especialmente en horizontes C).

Las micas varían en simetría e intensidad de sus difracciones siendo predominantemente bajas, no obstante en algunos perfiles (7, 8 y 9) se expresan como altos, especialmente en los horizontes C donde el grado de pedogénesis es menor. Los materiales transicionales (vermiculita-clorita) manifiestan rangos variables de ordenamiento y definición cristalina, hay variaciones desde “hombros” amplios hasta difracciones definidas y agudas; este fenómeno está acorde con la naturaleza “intermedia” de muchos de estos productos.

e. El grado evolutivo en general permite afirmar que en la parte más baja de la secuencia altitudinal domina caolinita, pero que en zonas superiores a los 1 000 m.s.n.m., existe una heterogeneidad de especies mineralógicas sobresaliendo micas, cuarzo, minerales transicionales micas-hidromicas-arcillas y caolinita, comprobándose el bajo grado evolutivo y la reserva potencial de nutrientes.

## CONCLUSIONES

- La composición mineralógica de las rocas influye grandemente en los suelos, especialmente en los ubicados a altitudes superiores a 1 500-2 000 m, debido a las condiciones imperantes de pendientes pronunciadas, rejuvenecimiento por pérdidas erosivas y baja evolución.
  - Los suelos presentes a altitudes más bajas aumentan en grado de evolución, disminuyendo el efecto de los materiales parentales.
  - La dinámica de las vertientes con pendientes altas (25 - 65%) constituye uno de los mecanismos determinantes de las características de los suelos.
  - El dominio de altas pendientes en las partes altas y medias de la Cuenca del Río Motatán generarán tendencias a la eliminación (pérdidas por erosión) de los productos provenientes de los mecanismos de alteración de los materiales geológicos, determinando rejuvenecimientos pedológicos y predominio de suelos “jóvenes” (Entisoles e Inceptisoles), sólo atenuados por la protección, mayor o menor, de la vegetación.
  - La intensidad de la erosión es variable, en zonas de alta pendiente y dominio de la precipitación sobre la evapotranspiración se observan suelos menos evolucionados (Entisoles e Inceptisoles), que en aquellas donde el balance hídrico cambia (30-40 cm de horizontes A, sobre horizontes C en zonas con pendientes de 25-60%, en comparación con 50-100 cm de horizontes A y B en zonas de bosque seco con pendientes en el rango 15-40%), en estas se presentan Inceptisoles y Ultisoles.
  - Los suelos con pH menos ácido (perfiles 7, 8 y 11) están ubicados en zonas donde la evapotranspiración predomina sobre la precipitación, según los cálculos del balance hídrico. No obstante, no se descarta la influencia del material parental, especialmente por intermedio de la Formación Mucuchachí. Los suelos de zona del Pico El Águila con un balance que indica predominio de la precipitación, tienen pH más ácidos (4,4-5,7).
- Los principales procesos evolutivos evidenciados en los suelos estudiados son:
- Pérdidas: asociadas a erosión y/o lavado de elementos (Ca, Mg, K, Na).
  - Transferencias de arcilla, en el caso de los Ultisoles (Perfiles 1 y 10).
  - Transformaciones de materiales tanto orgánicos (humificación) como minerales (alteración y síntesis).
  - Los procesos de pérdidas, como ya se ha comentado, están asociados a los mecanismos erosivos con la consiguiente disminución en el espesor de los horizontes A (Perfiles 3 y 14, Udorthents) y al lavado de elementos alcalinos y alcalino térreos que aumentan la acidez, disminuyen la fertilidad y aumentan la concentración de elementos tóxicos, como en el caso del Al de cambio, (Perfiles 1, 2, 5, 6 y 8).
  - La iluviación de arcilla constituye uno de los procesos indicativos de mayor grado evolutivo en los suelos estudiados. El proceso está definido por incrementos de la fracción arcilla en los horizontes Bt (Perfiles 1 y 10) del orden del 8% comparados con los horizontes A y del 18 a 22% en relación con los

infrayacentes; además, estos suelos se encuentran en la zona de vida del bosque seco premontano y manifiestan alta acidez en los horizontes eluviales (pH 4,5 – 5,0), que disminuye en los horizontes iluviales Bt (pH 4,8 - 5,3).

- Las transformaciones tanto orgánicas como minerales están expresadas por las siguientes secuencias:

Transformaciones Orgánicas M. Orgánica → Humus (Moder, Mull ácido - Moder, Mull ácido, Mull eutrofo a Mull ácido, Mull eutrofo, Mull chernozémico). Transformaciones minerales:

Muscovita      illita  
Feldspatos      caolinita y gibsita  
Cuarzo      cuarzo ligeramente alterado

Los tipos de evolución pueden agruparse en tres clases:

**Incipiente:** mezcla órgano-mineral incompleta, parcial o no avanzada (mayoría de los suelos estudiados). Los procesos no han llegado a diferenciar acciones o eventos específicos, fundamentalmente por causa de los fenómenos erosivos.

**Pseudo-Calcificación:** Altas saturaciones de Ca y/ o Mg, pH neutro a básico, no hay iluviación de arcillas y tipo de humus mull chernozémico o eutrofo. Suelos representados por los perfiles 8 y 11. No hay reacción al HCl razón por la cual el proceso no es típicamente de calcificación.

**Argiluviación:** migración e iluviación de arcilla en medio ácido, baja saturación de cationes alcalinos y alcalino térreos y alta acidez de cambio con influencia de Al. Suelos representados por perfiles 1 y 10. Abundancia de minerales resistentes y acumulación de productos estables de alteración.

- La mayor parte de los suelos estudiados pertenecen al tipo de evolución “incipiente”, sólo algunos perfiles en zona de bosque seco (tropical o premontano) y generalmente bajo la influencia de la Formación Mucuchachí, presentan “pseudo calcificación”. El proceso de “argiluviación” se genera en zonas de bosque seco premontano a altitudes inferiores a los 2 000 m.s.n.m. Los procesos comentados tratan de resumir la evolución del suelo en la zona investigada.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, L. y G. Mendoza. 1977. Determinación de áreas potenciales para el desarrollo agropecuario, cuenca del Río Motatán. Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Taller de Publicaciones Forestal. Mérida - Venezuela. 171 p.
- Álvarez, R. and R. S. Lavado. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83:127-141 p.
- Arnold, R. W. 1965. Multiple Working hypothesis in soil genesis. *Soil Science Society of America Proceeding* 29:717-724.
- Arnold, R. W. 1983. Concepts of soils and pedology. Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions. Ed. L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F.Hall. Elsevier. pp. 1-21.
- Arocena, J. M. and P. Sanborn. 1999. Mineralogy and genesis of selected soils and their implications for forest management in central and northeastern British Columbia. *Canadian Journal of Soil Science* 79:571-792.
- Bouyoucos, G. S. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agronomy Journal* 54:464-465.
- Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-Total. En *Methods of Soil Analysis. Part. 2. Chemical and microbiological properties*. Soil Science Society of America 595-624.
- Bray, R. H. and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science* 59:39-45.
- Duchaufour, P. H. 1977. *Pédogènese et classification*. Masson. Paris. 477p.
- Edwel, J. J. y A. Madriz. 1968. Zonas de vida de Venezuela. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas. 265p.
- F.A.O. 1966. Suelos Ríos Cojedes Superior y Motatán. Proyecto “Venezuela I” del Fondo Especial (UNDP-FAO) de la ONU.

- Jackson, M. L. 1964. Soil Clay Mineralogical Analysis. Soil Clay Mineralogy. The University of North Carolina Press.
- Jaimes, E., J. Mendoza., N. Pineda y H. Rodríguez. 2005. Homogeneidad Pedogeomorfológica y Pedogénesis en la Cuenca del Río Motatán, Trujillo, Venezuela. *Interciencia* 30(2):73-80.
- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation. A system of quantitative Pedology. McGraw-Hill-Book Co., Inc., New York. 281 p.
- Jenny, H. 1980. The soil Resource. *Ecological Studies* 37, Springer, New York, N. Y. 377 p.
- Kaurichev, R. S., N. P. Panov, M. V. Stratonovich., I. P. Crechin, V. I. Sávich, N. P. Ganzhara and A. P. Mershin. 1984. Prácticas de Edafología. Editorial MIR-Moscu. 289 p.
- Köppen, W. 1948. Climatología. Hendrichs, PR. (Trad). Fondo de Cultura Económica. México-Buenos Aires. 478 p.
- Maher, B. A., R. Thompson and L. P. Zhou. 1994. Spatial and temporal reconstructions of changes in the Asian paleomonsoon: A new mineral magnetic approach. *Earth Planetary Sci. Lett.* 125:461-471.
- Malagón, D. 1982. Evolución de suelos en el páramo andino. (NE del estado Mérida-Venezuela). CIDIAT. Mérida. 222p. (Serie: Suelos y Clima).
- Manrique, J., G. Ochoa y J. Oballos. 1997. Suelos de la cuenca del Santo Domingo. (Sector Los Frailes. Caracterización físico-química). Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 41(1):61-68.
- Mehra, O. and L. M. Jackson. 1960. Iron oxide removal from soil and clay dithionite citrate system buffered with sodium bicarbonate. **In:** Clays and Clay Minerals. Proc. 7th. Conf. Natl. Acad. Sci. Natl. R. p. 317-327.
- Ministerio de Energía y Minas (M. E. M). 1997. Léxico Estratigráfico de Venezuela. Boletín de Geología. Publicación especial N° 12. 3ª ed. SERVIGEOMIN. Ministerio de Energía y Minas. Venezuela. 828 p.
- Oballos, J. y G. Ochoa. 1996. Los óxidos de hierro en la génesis de los suelos de la región Las Cruces-Santa Elena de Arenales. Mérida. Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 40(2):69-74.
- Oballos, J. 1995. Caractérisation des sols de la région de Las Cruces-Santa Elena de Arenales, Mérida, Venezuela (contribution à la connaissance de la pédogénese en montagne tropicale humide). Tesis de doctorado. Université de Toulouse Le Mirail, 244 p.
- Ochoa, G. y M. Malagón. 1979. Atlas de microscopía electrónica en suelos de Venezuela. (Región de la Cordillera de Mérida) (1 000-3 500 m.s.n.m.). CIDIAT. 40 p. (Serie: Suelos y Clima).
- Ochoa, G y R. Marante. 1983. Estudios de suelos de la parte alta y media del río Motatán. Estados Mérida-Trujillo. Universidad de Los Andes. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Taller de Publicaciones Forestal. Mérida - Venezuela. 101 p.
- Ochoa, G., D. Malagón y O. Márquez. 1995. Acidez en suelos de la cuenca del río Torbes (Estado Táchira). *Revista Geográfica Venezolana* 36(1):13-30.
- Ochoa, G., J. Oballos, E. Jaimes y J. Manrique. 2004. Relación entre el material parental y el pH de los suelos en los Andes Venezolanos. *Revista Geográfica Venezolana*. 45(2):281-288.
- Rivas, S., J. Oballos, G. Ochoa y J. Santiago. 2005. Ensayo metodológico de evaluación de tierras para la captación de agua en dos microcuencas del río Santo Domingo, Mérida, Venezuela. *Interciencia* 30(6):347-355.
- Soil Survey Staff. 2006. Key to Soil Taxonomy. USDA/NRCS. Washington. EEUU. 323p.
- Sosa, J., G. Ochoa y J. Oballos. 1997. Suelos de la cuenca del Santo Domingo, Sector Mucubají. (Caracterización físico-química). Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Venezolana* 41(2): 155-160.
- Shaw, J. N., L. T. West and B. F. Hajek. 2001. Ca-Mg ratios for evaluating pedogénesis in the piedmont province of the southeastern United States of America. *Canadian Journal of Soil Science* 81:415-421.
- Torrent, J. and W. D. Nettleton. 1979. A simple textural index for assessing chemical weathering in soils. *Soil Science Society of America Journal*. 43:373-377 p.
- Walkley, A. and A. Black. 1934. An examination of the Detjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.

Young, F. J. and R. H. Hammer. 2000. Defining geographic soil bodies by landscape position, soil taxonomy, and cluster analysis. *Soil Science Society America Journal* 64:989-998.

Yuan, T. L. 1959. Determination of exchangeable hydrogen in soil by titration Method. *Soil Science* 88: 164-167p.