

## CARACTERIZACIÓN DE ULTISOLES EN LA CUENCA DEL RÍO CAPAZ, MÉRIDA-VENEZUELA

## CHARACTERIZATION OF ULTISOLS IN THE CAPAZ RIVER BASIN, MERIDA-VENEZUELA

Jajaira Oballos\* y Guido Ochoa\*\*

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

### RESUMEN

Catorce Ultisoles desarrollados sobre lutitas fueron caracterizados en la cuenca del río Capaz, Mérida-Venezuela. La textura fina, reacción ácida, dominancia de minerales resistentes a la alteración y coexistencia en la fracción arcilla de caolinita bien cristalizada e ilitas degradadas con interstratificados desorganizados y vermiculitas bien cristalizadas se asocia a la herencia de la roca madre (lutitas cretácicas ácidas que han sufrido varios ciclos de transformación) y a una alteración moderada. El desarrollo de Ultisoles en la zona estudiada esta fundamentalmente asociado a la presencia de un material parental de origen sedimentario con textura fina y baja reserva de minerales alterables (lutitas), independientemente de las condiciones bio-climáticas.

**Palabras Clave:** Suelos de montaña tropical andina; Ultisoles; material parental.

### SUMMARY

Fourteen mudstone-formed Ultisols located in Capaz River basin (Mérida, Venezuela) were characterized. Aspects such as fine texture, acid reaction, abundance of resistant materials, and coexistence of well-crystallized clay fraction kaolinite, degraded illite through interstratified minerals under disorder arrangement, and well-crystallized vermiculite are associated with inheritance from parent rock (cretaceous and acid mudstone having undergone various transformation cycles) and moderate alteration. Ultisols development in the region of this study is mainly related to parent material of sedimentary origin, being characterized by fine texture and low deposits of unstable minerals (lutite or mudstone), independent of the bioclimatic conditions.

**Key Words:** Humid tropical mountain soils; Ultisols; parent rock.

RECIBIDO: junio 11, 2007

ACEPTADO: junio 04, 2008

## INTRODUCCIÓN

Las características más importantes para el diagnóstico de los Ultisoles son la presencia de un horizonte argílico o de un horizonte cándico, acompañado por una saturación de bases, por suma de cationes, inferior a 35% a una profundidad de 125 cm por debajo del límite superior del horizonte argílico o cándico o hasta una profundidad de 180 cm desde la superficie del suelo (Soil Survey Staff, 1999).

Los Ultisoles necesitan para su formación climas cálidos y húmedos, con un período de precipitación deficiente. Dichos suelos se forman en una amplia variedad de materiales parentales, pero con muy pocos contenidos de minerales primarios que contengan bases con excepción de algunas micas. La fracción arcillosa está constituida principalmente por caolinita, gibsita y arcillas interestratificadas con aluminio interlaminar. Los Ultisoles pueden formarse bajo cualquier régimen de temperatura, con excepción del frígido e isofrígido. El régimen de humedad puede ser ácuico, údico, xérico o ústico. El proceso más importante en su formación es la migración de arcilla desde la parte superficial hasta el horizonte iluvial Bt (Soil Survey Staff, 1999). Los Ultisoles se pueden formar tanto en regiones templadas como en regiones tropicales con vegetación boscosa o no, ellos se encuentran en superficies más jóvenes que los Oxisoles (Buol *et al.*, 2003).

En los Llanos Bajos venezolanos se han descrito Plinthaquults sobre posiciones geocronológicas del Q<sub>3</sub>, con arcillas de tipo caolinita, cloritas e ilitas (Malagón *et al.*, 2004).

En los Altos Llanos Occidentales se encuentran Haplohumults y Hapludults (Ochoa y Oballos, 2002), las arcillas dominantes son la caolinita, ilita e interestratificadas. En los andes venezolanos se han descrito Ultisoles sobre diferentes condiciones de material parental, clima, geomorfología, altitud y vegetación. Ellos se caracterizan por presentar: reacciones ácidas, bajos porcentajes de saturación de bases, bajos valores de capacidad de intercambio catiónico, medianos a altos contenidos de materia orgánica (MO) y caolinita dominando en la fracción arcilla (Oballos y Ochoa, 1991-1992).

Los grandes grupos (Soil Taxonomy, Soil Survey Staff, 1999) dominantes en los andes venezolanos son: Haplohumults, Haplustults y Hapludults (Oballos y Ochoa, 1991-1992). Estos suelos presentan contenidos de arcilla, valores de acidez de cambio y de aluminio intercambiable superiores a los descritos en planicies

aluviales, estos últimos presentan mayores espesores (Ochoa y Oballos, 1994, 2002; Malagón *et al.*, 2004).

El objetivo fundamental del trabajo consiste en analizar 14 perfiles clasificados como Ultisoles (Soil Survey Staff, 1999) desde el punto de vista físico, químico, mineralógico y micromorfológico, con el fin de contribuir al conocimiento del desarrollo de Ultisoles en zona de montaña húmeda tropical.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Catorce perfiles similares en clasificación y en material parental, localizados a altitudes comprendidas entre 300 y 2500 m.s.n.m., en la cuenca del río Capaz, estado Mérida-Venezuela, fueron seleccionados (Figura 1; Cuadro 1).

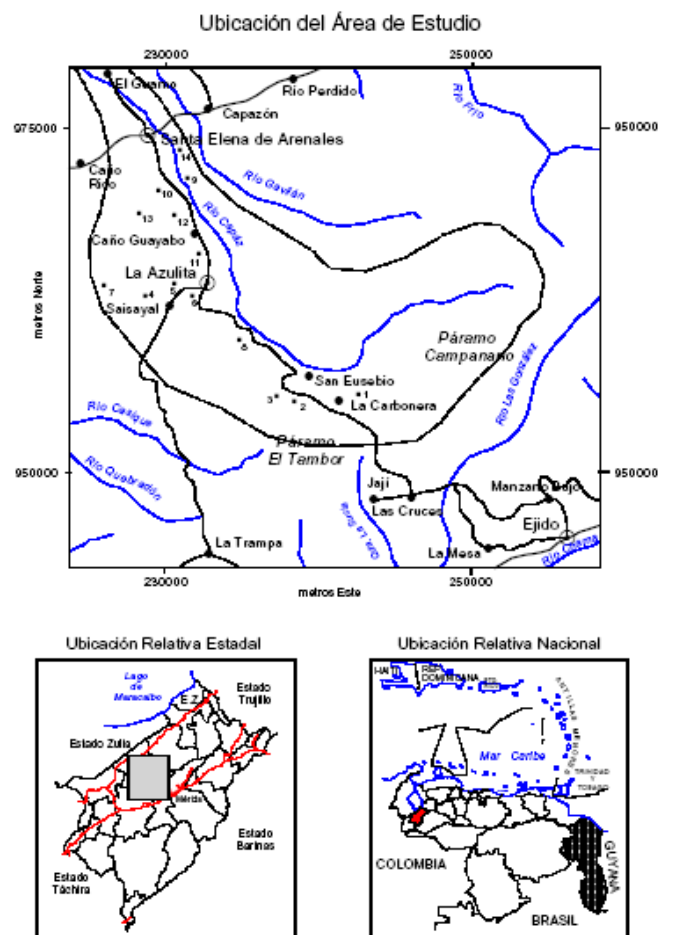


FIGURA 1. Ubicación del área de estudio.

**CUADRO1.** Principales características del medio donde se desarrollan los suelos estudiados.

Perfiles	Rango Altitudinal	Litología-Formación	Clima(Köppen)	Vegetación natural
1, 2, 3	2000 - 3000	Lutitas Fm. Colón	C. de Montaña Tropical. Gwi	Selva Nublada
7	1500 - 2000	Lutitas Fm. Capacho	C. de Montaña Tropical. Gwi	Selva Nublada
4, 5	1500 - 2000	Lutitas Fm. Capacho	C. de Selva Tropical. Ami	Selva Nublada
6, 8	1000 - 1500	Lutitas Fm. Capacho	C. de Selva Tropical. Ami	Selva Estacional Montana
11	500 - 1000	Lutitas Fms. Capacho y Luna	C. de Selva Tropical. Ami	Selva Estacional Montana
12, 13	500 - 1000	Lutitas Fm. Aguardiente	C. de Selva Amazónica Lluviosa. Afi	Selva Submontana
14	< 500	Lutitas y areniscas Fm. Palmar	C. de Selva Amazónica Lluviosa. Afi	Selva Submontana
9, 10	< 500	Lutitas Fm. Colón	C. de Selva Amazónica Lluviosa. Afi	Selva Submontana

El material parental de los 14 perfiles está constituido por lutitas de diferentes formaciones (Colón, Capacho, Aguardiente y Palmar).

El relieve está muy influenciado por la tectónica y la litología que determina el modelado de la cuenca. El relieve está formado por colinas en función de la plasticidad del material constitutivo.

Las pendientes varían entre 10 y 50%. Ellas presentan formas rectilíneas y débilmente onduladas (cóncavas y convexas). La acción del proceso de modelaje se manifiesta por la presencia de reptación, soliflujión y flujo de detritus.

La vegetación cambia con la altitud y la orografía local, hacia las partes más altas de la cuenca 1 500 a 3 000 m.s.n.m., se encuentra la Selva Nublada fuertemente intervenida por la acción antrópica, las especies dominantes en los relictos de bosque son: *Retrophyllum rospligiosii*, *Retrophyllum oleifolia*, *Ocotea calophyllum*,

*Weinmannia jahnni*, *Eschweilera monosperm*, *Brunellia integrifolia* y *Clusia* sp. En la parte media e inferior (150-1700 m.s.n.m.) de la cuenca la eliminación de la vegetación original (Selva estacional montana y Selva submontana) es casi total, para dar paso a una vegetación secundaria, constituida por sabanas secundarias y formaciones arbustivas densas.

El área estudiada se caracteriza por la presencia de clima tropical de montaña (Gwi), clima de bosque tropical (Ami) y clima de bosque amazónico lluvioso (Afi; Köppen, 1948) con temperaturas medias anuales que varían entre 12,6 y 26,9 °C y precipitaciones entre 1 100 y 1 900 mm. El régimen de humedad de los suelos es údico.

**Análisis físico-químicos:** Las muestras de cada horizonte, después de secadas al aire, fueron suavemente trituradas y cernidas con tamiz de 2 mm, para los análisis físico, químico y mineralógico: distribución por tamaño de las partículas, método de la pipeta (National Soil Survey

Center, 1996) y tamizado de arenas; retención de humedad a 0,033 MPa y 1,5 MPa, método ollas de presión; reacción del suelo, método potenciométrico, en H<sub>2</sub>O y KCl 1N relación 1:1; carbono orgánico método Walkley-Black (National Soil Survey Center, 1996); nitrógeno total, método micro-Kjeldhal (National Soil Survey Center, 1996); fósforo disponible, extracción con FNH<sub>4</sub> y HCl, (Bray-Kurtz, 1945); capacidad de intercambio catiónico, método acetato de amonio 1N, pH 7 (National Soil Survey Center, 1996); acidez intercambiable, método de Yuan (1959); elementos totales de las arcillas método del fluoruro de hidrógeno y el sílice por el metaborato de litio; micromorfología, impregnación y consolidación según el método de Jongerijs y Heintzberger (1963). Resina 11700 y estudio de las secciones finas según Brewer (1964) y Bullock *et al.* (1985); mineralogía de arcillas, difracción por Rayos X (equipo Siemens, ánodo de cobre, filtro de níquel), tratamientos: saturación con Mg, Mg - glicerol y K más calentamiento a 550 °C por 1 h (Kittrick y Hope, 1963).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

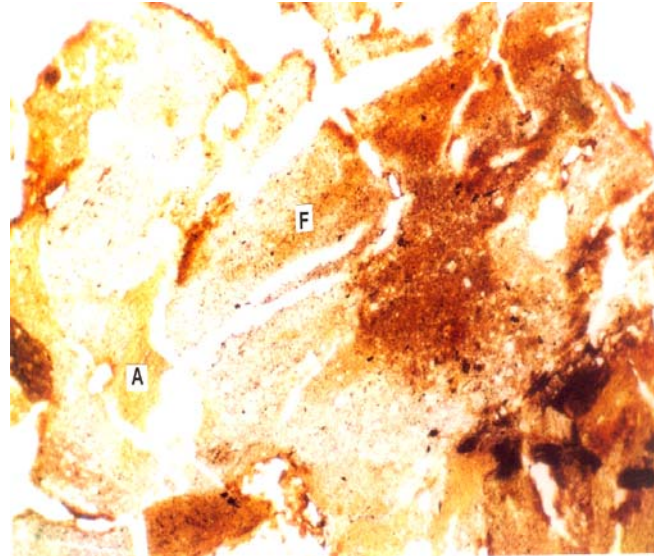
### Morfología de los perfiles

Los suelos estudiados son relativamente profundos y presentan una textura fina (arcillosa, arcillo-limosa y franco arcillo-limosa), asociada a la naturaleza de grano fino del material parental. El análisis del esqueleto muestra la presencia de un material de origen bastante homogéneo, constituido fundamentalmente por lutitas. La masa basal proviene de su alteración, observación de segregación de arcilla y puentes plásmicos entre los fragmentos lúcticos (Figura 2).

Los perfiles texturales son bien diferenciados y muestran un aumento de arcilla en el horizonte B (Cuadro 2).

El proceso de iluviación de arcilla es confirmado por presencia de revestimientos arcillosos con estructura microlaminar y zonas de extinción netas (Figura 3).

Los argilanes se localizan principalmente en los poros de los horizontes B, con una mayor proporción en su parte baja, presentan un espesor variable y en la mayoría de los casos se trata de arcillas con impurezas. Se observa también una movilización de hierro que se expresa con la presencia de revestimientos ferruginosos de tipo hiporevestimientos sobre las paredes de los poros, manchas rojas y nódulos ferruginosos (Figura 4).



**FIGURA 2.** Typic Haplohumult. Bt2 (43-75 cm). N||. x4. Puentes plásmicos (A) entre los fragmentos lúcticos. Estado de alteración de las lutitas (F).

La acumulación de hierro es posterior a la formación de las películas de arcilla, lo que es caracterizado por Fedoroff (1969) como una iluviación secundaria, y es a partir de este momento que la evolución pedológica se acelera.

### pH y cationes cambiabiles

Los suelos son ácidos, con valores de pH en agua que varían entre 3,60 y 5,80 (Cuadro 2), en la mayor parte de los casos son inferiores a 5,0. La reacción del suelo es un reflejo de la composición de los materiales geológicos a partir del cual se han formado (Erlich *et al.*, 1955; Miles y Franzmeier, 1981; Singer, 1988; Ochoa y Oballos, 1994; Shaw *et al.*, 200; Ochoa *et al.*, 2004). En este caso se trata de lutitas cretácicas ácidas.

El aluminio es el catión dominante en el complejo de intercambio. Los contenidos de calcio, magnesio, sodio y potasio son bajos a muy bajos en todos los perfiles. Entre los cationes básicos, el calcio es el catión dominante en el complejo de intercambio de los horizontes A de los perfiles (excepto el perfil 13), mientras que en los horizontes B y C domina el potasio (excepto perfil 10). El mayor contenido de calcio es asociado a la acción de los ciclos biogeoquímicos en superficie y el de potasio a los altos valores de potasio que presentan los materiales parentales lutíticos (Cuadro 3).

**CUADRO 2.** Principales características físico químicas de los suelos estudiados. Mérida-Venezuela.

Perfil	Prof. cm	Horiz	Granometría					pH		CO g kg <sup>-1</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>1+</sup>	K <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>1+</sup>	CEC	CEC Arc	SB %	
			ag	am	af	Lf	Lg	A	H <sub>2</sub> O											KCl
1	0-6	A1	20	14	69	65	458	366	0,05	3,67	76,0	1,11	0,82	0,16	0,98	2,5	1,5	18,0	0,0	17,1
	6-18	A2	10	7	52	142	387	393	5,15	3,60	36,6	0,89	0,54	0,15	0,41	4,2	0,4	13,0	1,1	15,3
	18-43	Bt1	5	2	16	97	382	479	5,15	3,50	15,2	0,56	9,58	0,13	0,35	7,2	0,8	14,0	18,3	11,6
	43-75	Bt2	22	4	3	54	301	597	5,20	3,49	7,6	0,17	0,59	0,15	0,33	10,0	0,6	16,0	22,4	7,8
	75-92	C1	87	13	9	45	390	443	5,15	3,35	1,2	0,26	0,82	0,11	0,32	10,0	2,0	14,5	31,8	10,4
	92-145	C2	36	12	15	70	360	489	5,00	3,49	1,7	0,70	0,51	0,17	0,31	9,6	1,4	19,0	37,7	8,9
2	0-13	A1	5	4	10	29	361	582	4,42	3,45	37,1	1,94	0,68	0,14	0,57	9,9	0,9	19,0	10,7	17,5
	13-84	Bt1	4	2	6	35	322	630	4,00	3,70	17,5	0,08	0,15	0,13	0,58	13,6	0,6	21,5	10,3	4,4
	84-115	Bt2	2	2	11	35	315	627	4,75	3,70	11,4	0,06	0,17	0,10	0,34	11,5	1	21,5	28,0	3,1
	115-136	C1	2	2	13	67	300	615	4,50	3,64	7,3	0,06	0,18	0,17	0,38	15,0	0,7	19,5	27,6	4,1
3	0-23	A1	17	10	19	37	337	567	3,67	3,56	67,1	1,24	0,25	0,18	0,51	7,6	0,2	26,0	5,2	8,4
	23-83	Bt1	43	13	17	37	304	584	3,60	3,40	27,7	0,16	0,15	0,10	0,36	15,8	0,4	20,0	18,0	3,9
	83-135	C1	106	21	16	32	263	558	4,20	3,65	16,6	0,22	0,08	0,17	0,33	15,6	0,2	17,5	21,0	4,6
4	0-14	A1	13	6	70	242	259	407	4,65	3,55	44,2	1,11	0,76	0,20	1,05	9,8	2,6	20,0	11,8	15,6
	14-50	Bt1	5	4	21	85	289	583	5,25	3,60	11,2	0,11	0,1	0,15	1,02	19,4	0,0	23,0	32,8	6,0
	50-70	C1	11	3	17	58	281	611	5,10	3,55	6,6	0,17	0,05	0,16	0,65	17,6	0,0	24,0	35,6	4,3
	70-95	C2	15	9	3	64	354	540	5,29	3,40	5,6	0,06	0,03	0,19	0,51	18,4	0,0	21,5	36,3	3,7
5	0-20	A1	20	9	75	212	319	359	4,35	3,66	32,3	0,65	0,20	0,17	0,42	7,2	0,8	15,5	12,2	6,7
	20-39	A2	10	8	69	214	306	383	4,31	3,80	25,2	0,12	0,05	0,08	0,20	7,2	0,0	12,0	8,7	3,8
	39-57	Bt1	6	4	64	188	241	492	5,00	3,45	8,9	0,14	0,03	0,12	0,20	8,6	0,0	16,0	26,3	3,1
	57-93	Bt2	1	1	20	91	263	623	5,15	3,74	6,5	0,06	0,02	0,15	0,31	14,6	1,1	13,0	17,3	3,3
6	0-12	A1	40	12	72	115	360	401	4,54	3,56	45,4	0,65	0,21	0,13	0,46	12,0	1,3	24,5	21,9	5,9
	12-42	Bt1	24	7	51	127	317	468	4,62	3,60	26,9	0,11	0,08	0,19	0,27	14,8	0,4	22,0	27,2	3,0
	42-89	Bt2	33	10	47	143	273	480	4,70	3,70	7,0	0,06	0,03	0,14	0,19	12,8	0,6	19,0	34,6	2,2
	89-170	C1	11	8	15	175	393	387	5,10	3,75	6,2	0,06	0,02	0,13	0,43	17,2	0,5	24,5	57,8	2,6
7	0-10	A1	20	18	97	138	336	380	4,70	3,79	49,5	3,44	0,71	0,22	0,92	5,6	1,4	25,5	22,3	20,7
	10-20	A2	36	12	77	129	339	386	4,60	3,94	20,2	1,56	0,38	0,18	0,28	9,6	9,6	23,5	42,8	10,2
	20-45	Bt1	28	11	62	92	326	475	4,61	3,76	12,9	0,13	0,03	0,1	0,17	15,6	0,0	21,0	34,9	2,1
	45-73	Bt2	51	16	25	81	315	508	4,71	3,79	11,4	0,14	0,12	0,11	0,17	17,2	0,0	22,5	36,6	2,4
	73-150	C1	42	17	21	81	335	495	4,55	3,67	2,5	0,22	0,12	0,13	0,27	16,0	0,4	22,5	43,7	3,3

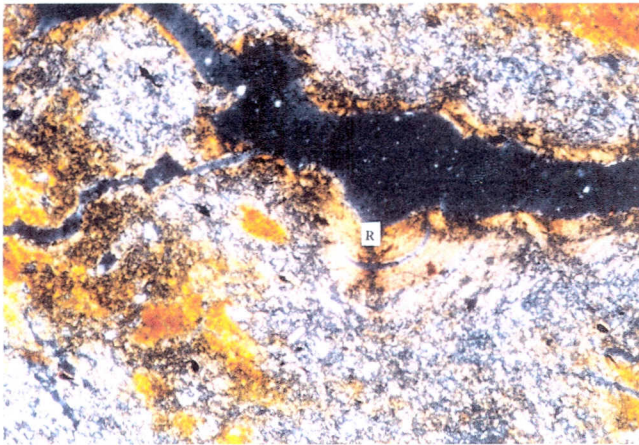
ag = 2 - 0,5 mm; am = 0,5 - 0,25; af = 0,25 mm; Lg = 0,02 - 0,002 mm; A = < 0,002 mm

.../... continúa

..../... continuación CUADRO 2.

Perfil	Prof. cm	Horiz	Granometría						pH		CO	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>1+</sup>	K <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>1+</sup>	CEC	CEC	SB
			ag	am	af	Lf	Lg	A	H <sub>2</sub> O	KCl										
8	0-16	A1	35	30	161	136	294	346	5,80	4,82	30,6	3,81	0,76	0,19	1,53	0,0	0,6	6,5	17,3	38,1
	16-87	Bt1	8	19	123	105	296	449	4,99	3,72	9,4	0,25	0,05	0,16	0,29	9,2	0,2	14,0	24,0	5,4
9	0-20	A1	6	5	65	41	437	446	4,76	3,84	9,1	2,62	0,99	0,15	0,46	0,8	2,4	18,5	34,2	22,8
	20-63	Bt1	2	3	38	25	289	643	4,60	3,52	7,9	0,50	0,49	0,29	0,31	13,60	0,1	21,5	29,2	7,4
	63-100	Bt2	8	4	56	14	246	660	4,60	3,46	7,0	0,09	0,31	0,31	0,33	15,8	1,4	20,5	27,4	5,1
10	0-10	A1	37	32	61	22	401	424	4,41	3,54	31,3	1,25	0,82	0,20	0,37	10,8	0,6	17,0	14,7	15,5
	10-28	Bt1	11	25	50	37	367	484	4,51	3,51	1,8	0,66	0,64	0,22	0,28	11,8	6,5	17,5	23,7	10,3
	28-66	Bt2	9	16	33	26	329	559	4,65	3,58	1,1	0,19	0,82	0,24	0,26	10,0	7,0	18,0	25,2	8,4
	66-125	C1	6	10	21	12	339	591	4,90	3,63	0,7	0,16	1,07	0,25	0,30	11,7	3,0	18,5	27,0	9,6
11	0-25	A1	12	7	29	75	326	535	4,00	3,50	32,9	2,88	0,35	0,24	0,45	13,0	2,0	23,0	21,8	17,0
	25-58	Bt1	5	2	30	64	230	656	3,80	3,49	12,1	0,13	0,05	0,19	0,21	18,2	0,6	22,0	27,2	2,6
	58-103	Bt2	2	1	23	57	189	719	3,80	3,50	10,3	0,19	0,03	0,17	0,21	18,2	0,4	22,0	25,7	2,7
	103-160	C	2	1	15	62	240	672	3,85	3,35	5,4	0,09	0,03	0,16	0,41	19,4	0,6	22,5	30,7	3,1
12	0-10	A1	53	17	30	44	334	500	3,85	3,41	17,0	2,88	0,41	0,18	0,61	5,9	1,4	22,0	32,3	18,5
	10-42	Bt1	9	5	12	62	254	655	3,65	3,37	13,9	1,75	0,17	0,16	0,40	11,8	0,4	19,0	21,7	13,1
	42-65	Bt2	8	3	4	95	355	555	3,70	3,40	12,1	0,80	0,10	0,13	0,36	13,0	1,0	18,5	24,9	7,6
	65-93	C1	6	2	4	98	348	527	3,65	3,50	7,6	0,50	0,07	0,14	0,32	12,4	1,2	18,0	29,2	5,7
	93-100	C2	3	2	4	101	348	540	3,75	3,50	5,4	0,47	0,05	0,11	0,26	11,2	0,4	15,0	24,0	5,9
13	0-13	A1	23	37	88	50	312	472	3,70	3,46	49,6	0,13	0,13	0,14	0,35	14,6	1,0	24,5	15,8	3,1
	13-34	A2	35	31	67	48	233	566	3,80	3,55	29,7	0,22	0,08	0,22	0,27	14,4	1,0	22,0	20,8	3,6
	34-51	Bt1	23	24	57	29	203	645	3,80	3,50	17,3	0,06	0,05	0,17	0,2	16,6	0,3	22,0	25,7	3,5
	51-76	Bt2	21	22	55	32	143	714	3,75	3,50	10,3	0,13	0,02	0,17	0,16	17,0	0,4	20,8	24,1	2,3
	76-106	Bt3	24	22	56	38	150	710	3,80	3,50	6,8	0,13	0,03	0,19	0,17	13,2	0,4	20,5	26,6	2,5
14	0-12	A1	34	12	95	132	374	350	3,65	3,43	28,4	0,19	0,23	0,1	0,33	11,4	0,2	15,5	16,4	5,5
	12-61	Bt1	30	9	83	123	296	459	3,80	3,46	19,2	0,19	0,08	0,17	0,24	14,0	0,2	16,5	21,5	4,1
	20-45	Bt2	24	7	83	123	275	476	3,85	3,46	4,2	0,00	0,00	0,00	0,00	13,60	0,4	15,5	29,5	0,0

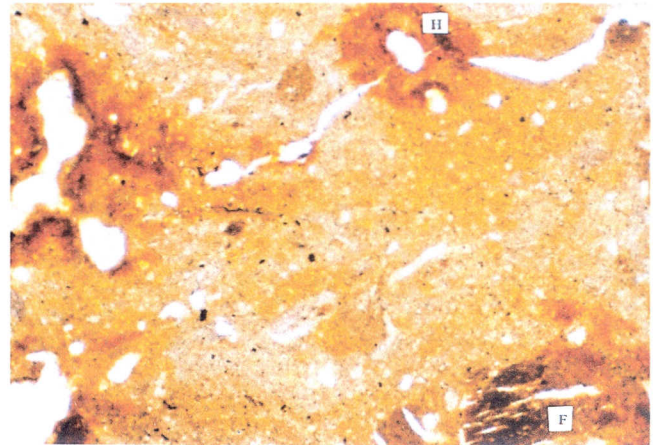
ag = 2 - 0,5 mm; am = 0,5 - 0,25; af = 0,25 mm; Lg = 0,02 - 0,002 mm; A = &lt; 0,002 mm



**FIGURA 3.** Typic Haplohumult. Bt1 (18-43 cm). NX. x10. Detalle de los revestimientos arcillosos (R).

Los porcentajes de saturación de bases son muy débiles, ellos varían entre 2,1 y 38,1%. Los valores son mayores en superficie que en profundidad, resultados similares se observan en buena parte de los suelos estudiados en Los Andes venezolanos (Ochoa *et al.*, 2004).

El aluminio cambiante aumenta con la profundidad. El proceso de redistribución del aluminio en el seno del perfil es poco probable ya que los contenidos en los horizontes B y C son similares. En superficie parece estar inhibido por la presencia de la MO. El proceso responsable de la disponibilidad de aluminio intercambiable en la solución del suelo es una reacción de hidrólisis de aluminio a pH inferior a 5, caso común en los suelos analizados (Chamayou y Logros, 1989).



**FIGURA 4.** Typic Haplohumult. Bt1 (18-43 cm). NX. x4. Micromasa de color no uniforme, zonas grisáceas. Hipo-revestimientos ferruginosos (H). Fragmentos de lutitas muy alterados (F).

Los resultados del análisis de los componentes del complejo de intercambio parecerían indicar que estos suelos han sufrido una fuerte alteración, pero la naturaleza de los materiales parentales (rocas sedimentarias de textura fina que han sufrido varios ciclos de transformación), sugieren que estas características son fundamentalmente asociadas a la naturaleza ácida de estos materiales, a pesar de que estos suelos se han desarrollado en medio húmedo.

**CUADRO 3.** Composición química de las lutitas para algunos perfiles estudiados. Mérida-Venezuela.

Perfil	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	65,02	22,67	6,98	4,05	0,1	0,05	0,21	0,00	0,92	0,00
8	65,76	22,46	6,60	3,78	0,02	0,04	0,23	0,00	1,11	0,00
12	67,21	18,36	10,33	2,39	0,26	0,38	0,14	0,00	0,93	0,00
23	66,13	21,83	6,54	3,54	0,86	0,05	0,23	0,05	0,76	0,00
27	70,28	21,17	4,58	2,92	0,03	0,04	0,17	0,00	0,81	0,00

### Mineralogía de los suelos y de las rocas

La fracción ligera de la arena (50 - 500  $\mu\text{m}$ ) está principalmente constituida por cuarzo y fragmentos líticos. El cuarzo representa más del 85% del total. Los fragmentos líticos son fragmentos de rocas silíceas (lutitas), chert y calcedonia. En la mayor parte de los casos el chert y la calcedonia son fósiles de foraminíferos, con una estructura perfectamente observable. Los fitolitos están presentes en la mayoría de los perfiles. Los feldespatos están presentes bajo la forma de trazas en todos los perfiles, salvo el perfil 1 (1 a 3%). Como se observa, en esta fracción sólo están presentes minerales muy resistentes a la alteración, excepto cantidades menores de carbonatos en el perfil 10.

El estado de conservación del cuarzo es similar en todos los perfiles estudiados, su fuerte proporción con relación a los feldespatos potásicos, puede ser debida a la transformación de los feldespatos en caolinitas o a la poca proporción de feldespatos en los materiales parentales.

Los óxidos de hierro y los minerales poco alterables como el circón, turmalina, rutilo, titanita, anatasa y moscovita constituyen más del 90% y hasta 99% de la fracción pesada de la arena (50-500  $\mu\text{m}$ ). Los óxidos están representados principalmente por la goetita y limonita. Los piróxenos (tipo hiperstena) y los anfíboles (tipo horblenda), así como otros minerales alterables (biotita y clorita) presentan una distribución inversa a la de los óxidos. Esta distribución sugiere que no existe relación entre el grado de evolución de los suelos y su composición mineralógica. Comportamiento que está relacionado con la naturaleza y la composición de los materiales parentales. Igualmente, la débil proporción (inferior a 10% o generalmente en forma de trazas) de minerales alterables no es el resultado de una intensa alteración en los suelos, sino, el producto de la herencia de la roca madre, lo cual constituye el factor determinante de la pedogénesis de los suelos estudiados.

La fracción arcilla de los suelos esta constituida por caolinita, vermiculita, ilita y diversos tipos de interestratificados (10-14Å); su distribución en el perfil muestra cierta evolución, la caolinita y vermiculita aumentan en los horizontes de superficie, mientras que la ilita y los interestratificados tienden a disminuir (Cuadro 4). En los horizontes A y Bt las arcillas dominantes son las caolinitas, excepto los perfiles 2, 3 y 8 donde domina las vermiculitas. Los contenidos de ilita son bajos en el conjunto de los perfiles, pero aumentan en los suelos desarrollados a altitudes superiores a los 2000 metros.

**CUADRO 4.** Composición mineralógica de la fracción arcilla de algunos horizontes de los suelos estudiados. Mérida-Venezuela.

Perfil	Prof. cm	Horizonte	Composición de la fracción arcilla			
1	0 - 16	A1	K <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	V <sup>2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+2</sup>
	18 - 43	Bt1	K <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	V <sup>2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+3</sup>
	92 - 145	C2	K <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	V <sup>2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+3</sup>
2	0 - 13	A1	K <sup>tr</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+4</sup>
	13 - 84	Bt1	K <sup>tr</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+4</sup>
3	0 - 23	A1	K <sup>tr</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+4</sup>
	23 - 83	Bt1	K <sup>tr</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+4</sup>
	83 - 135	C2	K <sup>tr</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+4</sup>
4	0 - 14	A1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup>	
	14 - 50	Bt1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup>	
	70 - 95	C2	K <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+3</sup>
5	0 - 20	A1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup>	
	39 - 57	Bt1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+3</sup>
6	0 - 12	A1	K <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	14CV <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>tr</sup>	
	12 - 42	Bt1	K <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	14CV <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>tr</sup>	
	89 - 170	C1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	14CV <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>tr</sup>	
7	0 - 10	A1	K <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	14C - 14V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup>	
	20 - 45	Bt1	K <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	14C - 14V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup>	
	73 - 150	C1	K <sup>+1</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+3</sup>
8	0 - 16	Bt1	K <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup>	
9	0 - 20	A1	K <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+2</sup>
	20 - 63	Bt1	K <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+3</sup>
10	0 - 10	A1	K <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+3</sup>
	10 - 28	Bt1	K <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+3</sup>
	66 - 125	C1	K <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	V <sup>3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	10-14V <sup>+3</sup>
11	0 - 25	A1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>tr</sup>	
	25 - 58	Bt1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>tr</sup>	
	103 - 160	C1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup>	
12	0 - 10	A1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup>	
	10 - 42	Bt1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup>	
	93 - 200	C2	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+2</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+2</sup>	
13	0 - 13	A1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>tr</sup>	
	51 - 76	Bt2	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	I <sup>tr</sup>	
14	0 - 12	A1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup>	
	12 - 61	Bt1	K <sup>+4</sup> <sub>1</sub>	V <sup>+3</sup> <sub>1</sub>	I <sup>+1</sup>	

K: Caolinita; V: Vermiculita; I: Iilita; 14C-14V, 10-14V, I-(10-14V), (10-14V)V: Interestratificados.

Abundancia: +4: abundante; +3: moderado; +2: poco; tr: trazas



La caolinita presenta un alto grado de ordenamiento cristalino, excepción perfiles 2 y 3, donde los contenidos de caolinita son muy bajos (en trazas). El alto grado de cristalinidad de la caolinita esta asociado a la ausencia de gibsita (Segalen, 1965), en los suelos estudiados no hay gibsita, pero sí está presente hematita y goetita. Simonett y Bauleke (1963) indican, para algunos suelos del norte de Queensland, Australia, que la caolinita mal cristalizada está asociada a la presencia de gibsita, hematita y goetita.

Los filosilicatos secundarios como vermiculita, clorita, montmorillonita, caolinita y haloisita son más abundantes en suelos formados sobre materiales parentales moderadamente meteorizados (Knox, 1968).

Los altos valores de relación sílice/aluminio (3,18 - 5,65) sugieren a las arcillas tipo ilita y vermiculita como dominantes en la fracción arcilla (Cuadro 5). Esto no coincide con la relativa importancia de la caolinita determinada por difractometría, ello puede deberse a la importante proporción de cuarzo en la fracción, que eleva los contenidos de sílice. Los valores de la relación sílice/sequíóxidos son altos (2,47 - 4,81). En general, ellos disminuyen con la profundidad, los más bajos se encuentran en los horizontes Bt y A<sub>2</sub>, lo cual indica una moderada movilización de los seqúioxidos en el seno de los perfiles. La pérdida relativa de sílice y la concentración de aluminio y de hierro son procesos típicos de la ferralitización (Delvigne, 1965). De acuerdo con los resultados, se puede señalar que los suelos presentan una débil a moderada alteración, y en consecuencia se trata de suelos moderadamente evolucionados.

Los difractogramas de las rocas constituyentes del material parental (Figura 5) presentan una gran homogeneidad a nivel de las especies mineralógicas presentes: cuarzo, caolinita, micas y minerales a 14Å. El cuarzo es el mineral más importante, seguido por la caolinita. Las micas se encuentran en todas las muestras en proporciones variables. Los minerales a 14Å se encuentran en menores proporciones. Esta composición mineralógica es muy similar a la observada en la fracción arcilla de los suelos. Los minerales de los perfiles pedológicos provienen directamente del material parental sin sufrir transformación ni modificación, lo que puede ser considerado como una herencia según Edelman (1947), Camez (1947) y Millot (1964).

El medio donde se desarrollan los suelos puede aproximarse a un medio semi-confinado, con una lixiviación moderada, controlada por los altos contenidos de arcilla.

Las percolaciones verticales son relativamente lentas como lo confirma la presencia de fases de hidromorfía (manchas de color) en un cierto número de perfiles (1, 5, 8, 9, 10, 13).

La coexistencia en el complejo arcilloso de caolinita bien cristalizada e ilitas degradadas con interestratificados desorganizados y vermiculitas bien cristalizadas se asocia a la herencia de la roca madre y a una alteración moderada.

La caolinita, en los materiales parentales, presenta reflexiones largas y redondeadas (salvo perfiles 14 y 20) que indican un débil grado de ordenamiento cristalino. Mientras que en los suelos, ellas son estrechas y simétricas, indicando un buen grado de ordenamiento cristalino. Ello puede ser asociado a un estado de alteración más avanzado de la caolinita en el complejo de alteración de los suelos, es decir a una alteración por "envejecimiento".

Las otras arcillas (ilitas, vermiculitas e interestratificados) tienen un doble origen. Ellas pueden ser heredadas de la roca madre o pueden ser derivadas de las micas (moscovita en particular) por microdivisión (ilitas), y por apertura de las láminas, acompañada de una desaparición parcial o total de los iones de K<sup>+</sup> fijados y su reemplazamiento por cationes intercambiables (vermiculita). Es posible, que debido a las condiciones de acidez del medio, estas vermiculitas sufran un proceso de aluminización. Una parte de los iones Al<sup>3+</sup> de substitución es liberada y substituida por iones complejos hidratados Al(OH)<sup>2+</sup> o Al(OH)<sup>+</sup> que forman islotes, lo cual disminuye la capacidad de intercambio catiónico (vermiculitas aluminosas). Esto concuerda con los análisis de capacidad de intercambio catiónico de las arcillas. La transformación de ilitas en vermiculitas se expresa mejor en los horizontes de superficie donde su presencia es más importante.

La caolinita, también es más importante en la parte superior del suelo. Se puede pensar entonces que la MO ejerce una acción considerable en la alteración (alteración bioquímica).

La MO, en el medio, está caracterizada por el tipo de humus Mull ácido oligotrofo (mull evolucionado con humificación biológica dominante, Duchafour, 1988), lo cual asociado a las condiciones de acidez y desaturación permiten señalar a la acidólisis como el proceso motor de la alteración de los suelos estudiados.

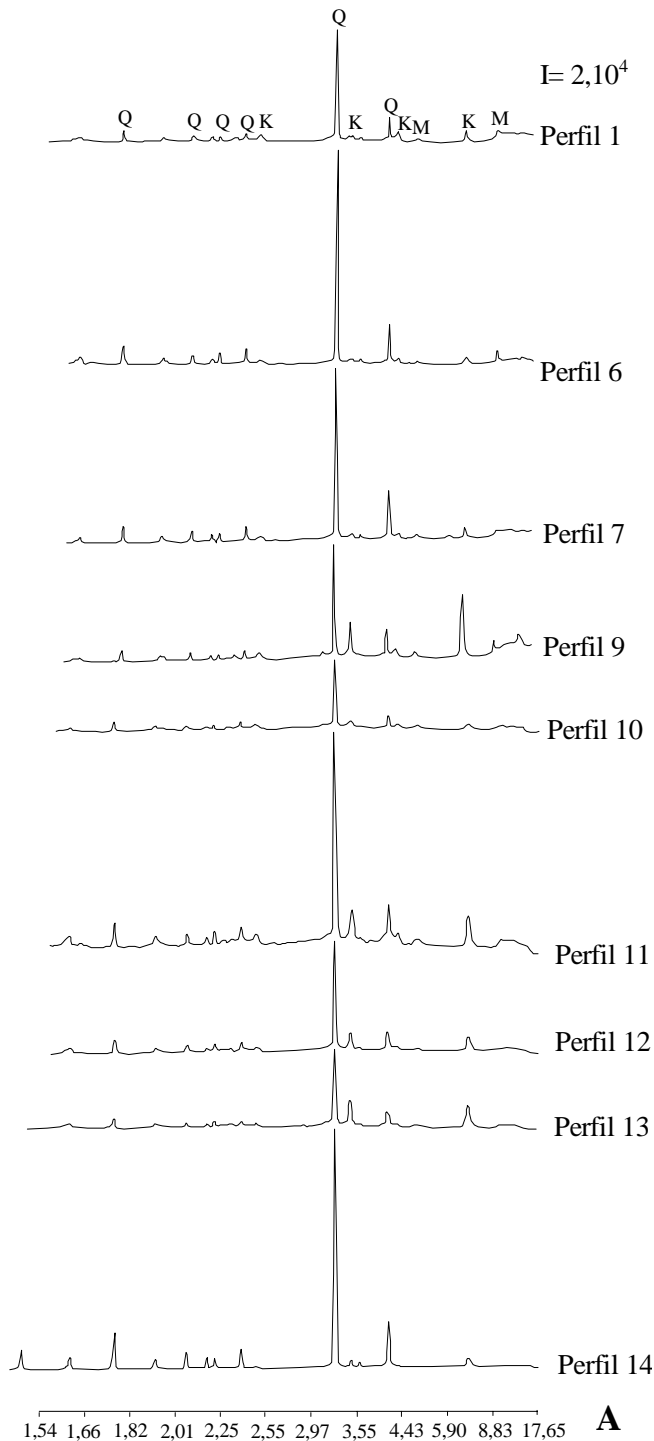
**CUADRO 5.** Composición química total de los suelos estudiados (fracción inferior a 2 $\mu$ m). Mérida - Venezuela.

Perfil	Composición química (%)									Relación molecular	
	Horiz.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Pérdida al Fuego	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
1	A1	62,57	18,21	4,89	3,18	0,00	0,16	0,00	10,04	5,83	4,98
	A2	57,42	22,67	6,08	1,91	0,00	0,37	0,00	10,7	4,30	3,67
	Bt1	55,11	21,93	8,81	3,29	0,00	0,15	0,05	9,89	4,26	3,39
	Bt2	50,87	25,17	6,77	3,42	0,29	0,57	0,00	11,05	3,43	2,93
	C1	51,14	24,99	6,73	3,17	0,00	0,18	0,00	12,75	3,47	2,96
	C2	53,44	22,39	8,05	3,09	0,21	0,13	0,15	11,98	4,05	3,29
2	A1	55,68	21,31	6,31	4,28	0,58	0,42	0,44	10,29	4,43	3,73
	Bt1	57,67	22,22	7,60	2,26	0,91	0,51	0,10	8,17	4,40	3,62
	Bt2	54,85	22,59	8,58	3,31	0,63	0,62	0,20	8,93	4,12	3,32
3	A1	57,68	23,43	5,09	3,84	0,05	0,85	0,00	8,75	4,18	3,67
	Bt1	58,63	24,05	4,9	3,08	0,17	0,37	0,00	8,52	4,14	3,66
	C1	56,85	23,50	4,65	3,43	0,50	0,96	0,07	8,80	4,11	3,65
	C2	57,32	24,85	4,12	3,23	0,67	0,51	0,09	8,04	3,91	3,54
5	A1	54,55	24,87	7,49	2,15	0,01	0,53	0,00	9,80	3,72	3,12
	A2	56,24	24,77	6,76	1,95	0,05	0,19	0,00	9,20	3,85	3,28
	Bt1	55,15	25,00	7,3	2,87	0,16	0,23	0,00	8,35	3,74	3,16
	Bt2	54,7	24,17	7,48	2,45	0,22	0,21	0,00	9,26	3,84	3,21
6	A1	55,32	25,89	5,43	1,67	0,31	0,37	0,00	9,91	3,63	3,20
	Bt1	53,77	26,48	4,53	1,53	0,00	0,23	0,00	12,40	3,45	3,11
	Bt2	57,63	23,79	4,05	1,72	0,23	0,33	0,00	11,08	4,11	3,71
	C	55,19	25,77	6,95	2,35	0,41	0,14	0,32	8,10	3,63	3,10
7	A1	59,61	22,69	3,15	2,76	0,27	0,35	0,00	10,87	4,46	4,10
	A2	59,83	21,35	4,77	2,61	0,08	0,25	0,35	10,03	4,76	4,16
	Bt1	56,57	22,94	4,16	2,91	0,00	0,43	0,77	11,31	4,19	3,75
	Bt2	57,13	21,87	6,00	3,25	0,09	0,13	0,93	9,99	4,43	3,77
	C	57,86	20,83	6,60	2,76	0,12	0,11	0,81	10,21	4,71	3,92

./... continúa

./...continuación CUADRO 5.

Perfil	Composición química (%)								Relación molecular		
	Horiz.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	Pérdida al fuego	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
8	A1	57,99	24,07	5,49	0,00	0,00	0,44	0,00	9,10	4,09	3,57
	Bt1	57,05	25,01	5,71	0,00	0,15	0,37	0,00	7,07	3,87	3,38
9	A1	57,09	23,10	5,30	1,95	0,43	0,57	0,10	10,61	4,19	3,66
	Bt1	55,15	24,85	4,50	1,87	0,07	0,78	0,35	11,77	3,77	3,38
	Bt2	54,30	24,30	4,17	2,91	0,01	0,52	0,02	12,87	3,79	3,42
10	A1	62,01	23,15	3,78	3,18	0,15	0,47	0,00	6,27	4,55	4,12
	Bt1	60,25	23,66	3,68	3,06	0,61	0,71	0,00	7,20	4,32	3,93
	Bt2	60,21	22,97	2,90	3,12	0,43	0,37	0,00	8,76	4,45	4,12
	C1	59,67	22,63	4,83	3,25	0,55	0,55	0,00	7,51	4,48	3,94
11	A1	58,87	19,30	2,89	3,06	0,31	0,55	0,02	13,95	5,18	4,72
	Bt1	59,04	18,52	2,13	3,97	0,10	0,73	0,37	14,12	5,41	5,04
	Bt2	58,33	19,27	4,54	3,16	0,08	0,17	0,16	13,16	5,14	4,47
	C	60,58	19,51	4,07	3,25	0,00	0,13	0,09	11,35	5,27	4,65
12	A1	58,11	20,21	3,32	2,92	0,32	0,38	0,00	12,72	4,88	4,42
	Bt1	57,63	19,95	3,94	3,15	0,09	0,69	0,53	13,05	4,90	4,35
	Bt2	57,77	20,33	3,17	3,52	0,04	0,11	0,22	13,37	4,82	4,39
	C1	59,06	19,07	3,72	3,09	0,02	0,09	0,11	13,19	5,26	4,67
	C2	65,03	18,97	2,76	3,23	0,00	0,15	0,02	8,95	5,82	5,32
13	A1	62,72	21,95	4,45	0,95	0,00	0,15	0,00	8,76	4,85	4,29
	Bt1	57,30	25,01	4,60	1,01	0,17	0,41	0,00	10,25	3,89	3,48
	Bt2	58,25	25,34	4,62	0,89	0,16	0,29	0,00	9,56	3,90	3,49
	C1	59,95	25,15	3,90	0,78	0,10	0,15	1,90	7,17	4,05	3,68
	C2	62,10	21,80	3,93	1,17	0,05	0,10	0,78	9,15	4,83	4,34
14	A1	58,91	22,83	3,32	2,85	0,43	0,18	0,01	10,91	4,38	4,01
	Bt1	57,67	22,91	3,17	2,79	0,93	0,59	0,01	10,87	4,27	3,93
	Bt2	58,75	22,59	3,02	3,01	0,21	0,16	0,00	11,27	4,41	4,07



**FIGURA 5.** Difractogramas de las rocas “sanas” de algunos perfiles. (K: Caolinitas, M: Micas, Q: Cuarzo).

La abundancia y buena conservación de minerales no caoliniticos (vermiculitas en particular) sugieren que los minerales constituyentes de las lutitas (roca madre) no han sufrido una transformación intensa y que esta se ha ido intensificando poco a poco durante el tiempo, bajo las condiciones del medio húmedo y relativamente fresco.

Por lo tanto, se puede identificar a la vermiculita como un mineral indicativo de la alteración moderada de los minerales de los suelos estudiados. Lo cual coincide con el débil estado de cristalización que presentan los óxidos de hierro.

### CONCLUSIONES

- Las principales características que permiten identificar a los suelos como Ultisoles son: movilización de arcilla, reacción ácida y bajos porcentajes de saturación de bases. Ellos se clasifican como Typic Haplohumults (perfiles 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 11, 12, 14), Oxiaquic Hapludults (perfiles 10 y 13) y Typic Hapludults (8 y 9).
- La textura fina, la reacción ácida, la dominancia de minerales resistentes a la alteración en la fracción arena y la coexistencia en la fracción arcilla de caolinita bien cristalizadas e ilitas degradadas con interestratificados desorganizados y vermiculitas bien cristalizadas se asocia a la herencia de la roca madre (lutitas cretácicas ácidas que han sufrido varios ciclos de transformación) y a una alteración moderada. La abundancia y buena conservación de minerales no caoliniticos (vermiculitas en particular) sugieren que los minerales constituyentes de las lutitas (roca madre) no han sufrido una transformación intensa y que esta se ha ido intensificando poco a poco durante el tiempo, bajo las condiciones del medio húmedo y relativamente fresco.
- Por lo tanto, se puede identificar a la vermiculita como un mineral indicativo de la alteración moderada de los minerales de los suelos estudiados. Lo cual coincide con el débil estado de cristalización que presentan los óxidos de hierro.
- El desarrollo de Ultisoles en la zona estudiada está fundamentalmente asociado a la presencia de un material parental de origen sedimentario con textura fina y baja reserva de minerales alterables (lutitas), independientemente de las condiciones bio-climáticas.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Boul S., R., R. J. Soutard, R. C. Graham and P. A. McDaniel. 2003. Soil Genesis and classification. Iowa State University Press. USA. 494 pp.
- Bray, R. H. and F. T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, 59: 39-45.
- Brewer, R. 1964. Fabric and mineral analysis of soils. Ed. John Wiley and Sons. New York. 470 pp.
- Bullock, P., N. Fedoroff, G. Stoops and T. Tursina. 1985. Handbook of Soil thin Section Description. Waine Research Publications. Wolverthampton. 155 pp
- Camez, T. 1947. Étude sur l'évolution des minéraux argileux dans les sols de Tunis. Régence de Tunis-Protectorat Français. 105 pp.
- Chamayou, H. et J. P. Legros. 1989. Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la Science du Sol. Agence de Coopération Culturelle et Technique. PUF, Paris, France. 593 pp.
- Delvigne, J. 1965. Pédogenèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique. DUNOD, Paris. 177 pp.
- Duchaufour, Ph. 1988. Pédologie. Masson, Paris. 2e. édition. 224 pp.
- Edelman, C. H. 1947. Relations entre les propriétés et la structure de quelques minéraux argileux. *Verres et Silicates*, 12-6: 3-6.
- Erlich, W., H. M. Rice and J. H. Ellis. 1955. Influence of composition of parent materials on formation in Manitoba. *Can. J. Soil Sci.*, 35: 407-421.
- Fedoroff, N. 1969. Genèse et morphologie des sols à horizon B textural en France Atlantique. *Science du Sol*, 1:29-65.
- Jongierius, A. and G. Heintz Berger. 1963. The preparation of mammoth-Sized thin sections. Soil survey papers N.W. Wageningen. 37 pp.
- Kittrick, J. A. and E. H. Hope. 1963. A procedure for the particle size separation of X ray diffraction analysis. *Soil Sci*, 96(3):318-325.
- Knox, E. G. 1968. Curso de Génesis y Clasificación de Suelos. Turrialba, Costa Rica. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Centro Tropical de Enseñanza e Investigación. 48 pp.
- Köppen, W. 1948. Climatología. Hendrichs, PR. (Trad.). Fondo de Cultura Económica. México. Buenos Aires. 478 pp.
- Malagón, D., G. Ochoa y J. Oballos. 2004. Caracterización físico-química mineralógica y génesis de suelos de planicies cuaternarias, región sur de San Fernando de Apure, Venezuela. *Agrochimica*, XLVIII (1-2):25-41.
- Miles, R. J. and D. P Franzmeier. 1981. Lithochrono- sequence of soils formed in dune Sand. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45:362-367.
- Millot, G. 1964. Géologie des argiles. Masson et Cie. Paris, France. 499 pp.
- National Soil Survey Center. 1996. Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report. N° 42. Version 3. USDA. Washington, DC. 693 pp.
- Oballos, J. y G. Ochoa. 1991-1992. El Material Parental como un factor en la génesis de algunos Ultisoles en la región andina (>1500 msnm). *Revista Forestal Venezolana*, XXV y XXVI, 35 y 36: 45-59.
- Ochoa, G. y J. Oballos. 1994. Génesis de suelos en la región andina Santa Elena de Arenales-Las Cruces. Estado Mérida. Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, XXVIII, 38:49-54.
- Ochoa, G. y J. Oballos. 2002. La homogeneidad múltiple y la evolución de los suelos en la región Socopó – Barinas, Venezuela. *Agrochimica*, XLVI (5):221-230.
- 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.
- Segalen, P. 1965. Les produits alumineux dans les sols de la zone tropicale humide. 1<sup>re</sup> partie: Les produits alumineux. *Cahiers ORSTOM. Pédologie*, III (2):149-176.
- 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. *Can. J. Soil. Sci.*, 81:415-421.