

# Caracterización morfológica, química y mineralógica de suelos de la región andina venezolana

*Morphological, chemical and mineralogical characteristics of Venezuelan Andean soils*

Ochoa Guido\*, Malagón Dimas\*\*, Palacios Ernesto\*\*\* y Oballos Jajaira\*\*\*\*

*Recibido: noviembre, 2008 / Aceptado: septiembre, 2009*

## Resumen

Se estudiaron las propiedades físico-químicas y mineralógicas de siete suelos de la cordillera de los Andes venezolanos, pertenecientes a los órdenes Ultisoles, Entisoles, Inceptisoles y Aridisoles. Salvo el Aridisol, desarrollado en la zona seca de Lagunillas, los suelos son ácidos, desaturados y con altos contenidos de Al. Los minerales arcillosos presentes en los suelos muestran el siguiente orden de importancia: mica-illita > hidromicas y materiales estratificados resultantes de su alteración > caolinita, cuarzo, goetita y materiales amorfos y criptocristalinos de aluminio. Los dos primeros grupos se relacionan genéticamente, mientras que la presencia, en algunos suelos, de caolinita bien cristalizada o de goetita se asocia fundamentalmente a mecanismos de herencia. El predominio de arcillas micáceas (illita, vermiculita y estratificados) es indicativo de un moderado a bajo grado de evolución de los suelos analizados. Las principales características de los suelos estudiados responden en lo fundamental a los factores formadores material parental y clima.

**Palabras clave:** Caolinita; herencia; illita; Ultisoles; Inceptisoles; Entisoles.

## Abstract

Chemical, physical and mineral properties of seven soil types from the Venezuelan Andes range were studied. They were mainly Ultisols, Entisols, Inceptisols, and Aridisols. With the sole exception of Aridisols, found in the dry Lagunillas area, soils are acid, unsaturated, and have a high Al content. Clay soils showed the following profile: mica/illite > hydromica and stratified materials resulting from alteration > kaolinite, quartz, goethite, and amorphous and cryptocrystalline materials of aluminum. The first two are genetically related while kaolinite and quartz are basically related to inheritance mechanisms. Predominant mica clay (illite, vermiculite, and stratified minerals) may indicate a moderate-to-low soil evolution. The main characteristics of soils under study fundamentally depend on soil forming factors, parent material, and climate.

**Key words:** Kaolinite; inheritance; illite; Ultisols; Inceptisols; Entisols.

\* Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Laboratorio de Suelos, Mérida-Venezuela. Correo electrónico: guidooch@ula.ve

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

\*\*\* Universidad de Los Andes, Centro de Microscopía Electrónica, Mérida-Venezuela.

\*\*\*\* Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, Mérida-Venezuela. Correo electrónico: oballos@ula.ve

## 1. Introducción

Ochoa *et al.* (2004) estudiaron 502 perfiles sobre diferentes materiales de las formaciones geológicas de los Andes venezolanos y encontraron que un 82% tienen un carácter ácido. Los mismos autores indican que los suelos de los Andes venezolanos, clasificados a nivel de orden (Soil Survey Staff, 1999), 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 cretácicos y se localizan generalmente sobre materiales arcillosos (lutitas) a altitudes comprendidas entre los 1.000 y los 2.500 msnm, observándose el mayor porcentaje hacia los 2.000 msnm, en zonas con precipitaciones cercanas a los 1.600 mm. Grahan *et al.* (1988), Aroceña y Sanborn (1999), Stops *et al.* (2001), Dozgoren *et al.* (2002) muestran a partir de análisis químico, mineralógico y micromorfológico de suelos que el material parental es el factor determinante en la composición química y mineralógica de los mismos. Oballos (1995) estudiando Ultisoles e Inceptisoles, desarrollados sobre lutitas cretácicas en la cuenca del río Capaz, Mérida, Venezuela, encontró que no existen diferencias entre la composición de la fracción arcilla de los dos órdenes de suelos (caolinita, vermiculita, ilitas e interestratificados 10–14 Å) y lo relaciona con la naturaleza de la roca madre (existe mucha similitud entre la

composición mineralógica de las lutitas y la de los suelos). En este trabajo se estudiaron las propiedades físicas, químicas y mineralógicas de algunos suelos representativos de los Andes venezolanos, con énfasis en su mineralogía.

## 2. Materiales y resultados

Se seleccionaron, en los Andes venezolanos (estados Mérida, Táchira y Trujillo) a altitudes comprendidas entre 1.000–3.500 msnm, siete perfiles de suelos (Figura 1). Las principales condiciones del medio de formación para cada uno de los suelos se resumen en el cuadro 1.

Las muestras de cada horizonte, después de secadas al aire, fueron suavemente trituradas y cernidas con tamiz de 2 mm, para los análisis físico químicos y mineralógicos. Análisis físico químicos fracción inferior a 2 mm (National Soil Survey Center, 1996): distribución por tamaño de las partículas, método de la pipeta; reacción del suelo, método potenciométrico, en H<sub>2</sub>O, relación 1:1; carbono orgánico, método Walkley-Black; nitrógeno total, método micro-Kjeldhal; fósforo disponible, extracción con FNH<sub>4</sub> y HCl, Método Bray-Kurtz (1945); capacidad de intercambio catiónico, método acetato de amonio 1N, pH 7.

Análisis mineralógico de la fracción arcilla: el fraccionamiento y pretratamiento para análisis mineralógico se realizó siguiendo las instrucciones de Kittrick y Hope (1963). Se prepararon láminas orientadas, saturadas con Mg, Mg glicerol y K, las láminas con potasio

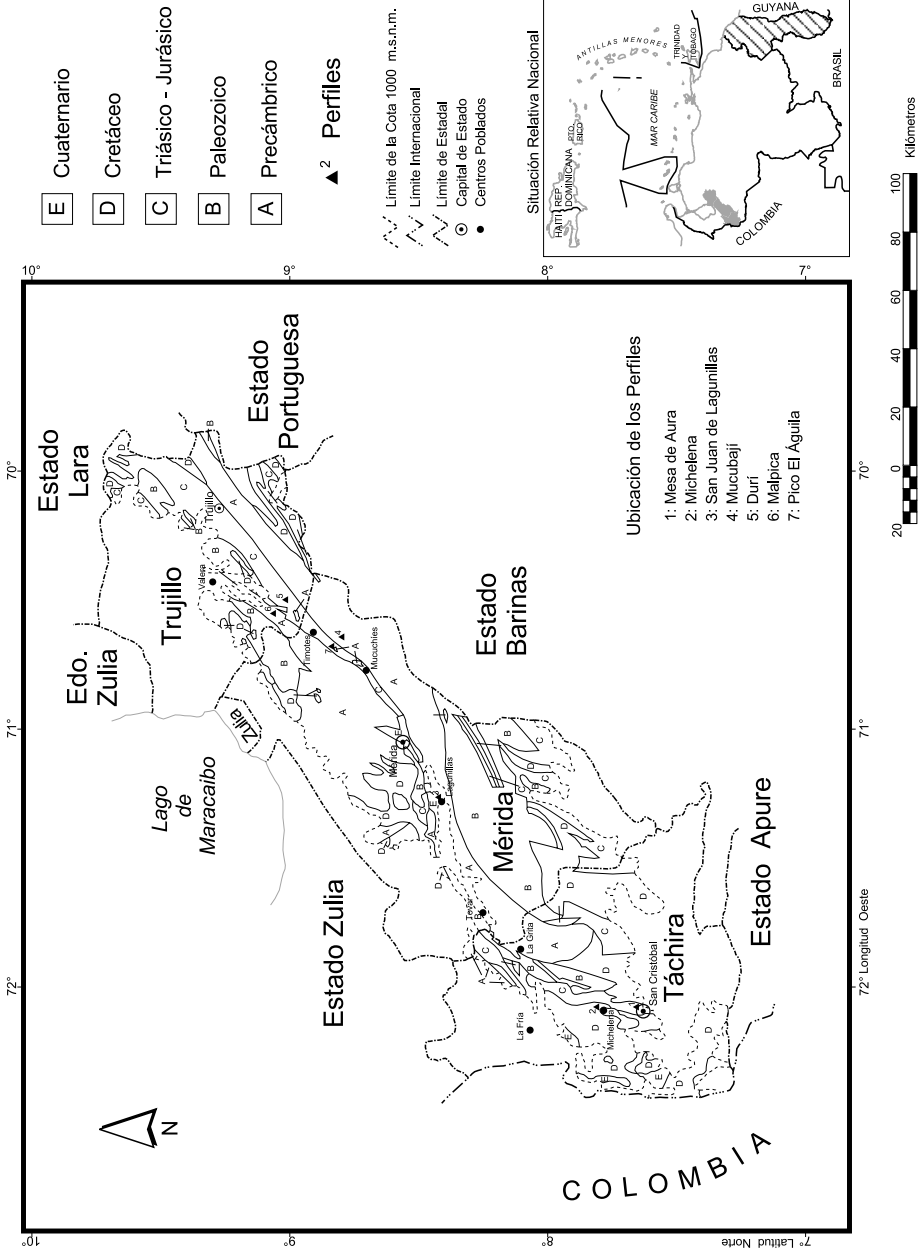


Figura 1. Geología y localización de los perfiles estudiados. Fuente: Ministerio de Minas e Hidrocarburos. Esc. 1:500.000. 1982

Cuadro 1. Condiciones de formación y clasificación de los suelos estudiados

Perfil Nº	Ubicación y altitud	Material parental	Geomorfología	Vegetación	P mm	T °C	Clima (Köppen) y zona de vida (Holdridge)	Clasificación
1	Mesa de Aura. Táchira. 2140 msnm	Limonitas y arenitas de la formación La Quinta	Vertientes, pendientes cóncavas 40%	Prandium, Stevia, ia, Gaillardia, Poa	1131	13	Gwi. Bosque húmedo montano bajo	Typic Haplohumults, esquelético arcilloso, lítico, isomésico
2	Michelena. Táchira 1420 msnm	Arenitas del cretáceo	Vertientes pendientes cóncavas 20%	Prosopis juliflora, Pithecelobium sp.	842	21	Aw. Bosque seco premontano	Ustic Haplohumults, esquelético arcilloso, caolinitico, isotérmico
3	San Juan de Lagunillas. Mérida 1050 msnm	Sedimentos cuaternarios aluvio-coluviales	Cono terraza Q <sub>2</sub> , Pendientes entre 2 y 4%	Cactáceas y Prosopis juliflora	502	24	B5wh. Bosque seco premontano	Typic Haplocambids, franco fino, micáceo, isohipertérmico
4	Mucubají camino a Mesa. Mérida 3550 msnm	Rocas ígneas félsicas y algunas metamórficas	Zona glaciar, pendientes variables	Espaletia sp, Polylepsis sericea, Hypericum laricoides, Poa, auciflora	938,5	5.6	Hi. Páramo (transición subalpino - montano)	Aquic Dystrudepts franco grueso, micáceo, en el límite isoófrigo- isomésico
5	Duri. Trujillo 2520 msnm	Rocas metamórfica de edad no diferenciada	Vertientes con pendientes cóncavas 60%	Vegetación arbustiva y gramíneas	870,3	13	Gw. Bosque seco, montano bajo	Oxic Dystrudepts, franco grueso, micáceo, isomésico
6	Malpica. Trujillo 2550 msnm	Rocas ígneas félsicas y algunas metamórficas	Vertiente con pendientes convexas 45%	Vegetación arbustiva	911,5	17	Gw. Bosque seco, montano bajo	Typic Udorthents, franco grueso, micáceo, isomésico
7	Pico El Águila. Mérida 3890 msnm	Materiales lutíticos formación Mucuchachi	Zona glaciar, pendientes variables	Espaletia sp, Polylepsis sericea, Hypericum laricoides	850,08	3.1	Gsln. Páramo subalpino	Oxic Dystrudepts esquelético franco, mezclado, isoófrigo

se calentaron a 550°C durante dos horas. Todas las secciones fueron sometidas a difracción de rayos X mediante radiaciones de  $K\alpha$  de cobre sin filtro de níquel, usando un difractómetro, Diano, XRD 8000. Para el estudio en microscopio electrónico se prepararon las muestras, siguiendo el método reseñado por Beutlspacher y Van del Marel (1968). Las muestras se observaron y fotografiaron en un Microscopio de Transmisión de Electrones, marca Joel, modelo 7.A y en un Hitachi, modelo H.500.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1 Morfología y propiedades físicas

La clasificación de acuerdo con Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 1999) y las propiedades morfológicas de los perfiles se resumen en los cuadros 1 y 2.

Los perfiles de suelos estudiados presentan las siguientes sucesiones de horizontes: A/C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub>, A/Bw/C y A/Bt/C<sub>1</sub>/C<sub>2</sub> (Cuadro 2). Los suelos han sido formados sobre diferentes tipos de materiales geológicos: sedimentos aluvio-coluviales (Perfil 3), lutitas (Perfil 7), rocas ígneas félsicas y algunas metamórficas (Perfiles 4 y 6), rocas metamórficas (Perfil 5), limonitas y arenitas (Perfil 1) y arenitas (Perfil 2). Los horizontes A presentan texturas francas, los horizontes subsuperficiales de los perfiles 1 y 2 presentan textura arcillosa; el resto de los horizontes de los restantes perfiles presentan texturas francas. Los horizontes A, B y C presentan una estructura blocosa suban-

gular, variando el tamaño y el grado de desarrollo. El rango de los colores de los horizontes A varía de rojo amarillento (5YR3/6) para los suelos desarrollados sobre la formación la Quinta en el estado Táchira (limonitas, presencia de hematita) y marrón rojizo oscuro (5YR3/3) para los suelos de la zona de San Juan de Lagunillas (feldespatos sericitizados, moscovita y materiales ferruginosos); los horizontes subsuperficiales de estos perfiles presentan los mismos colores. Los horizontes subsuperficiales de los perfiles 2, 4, 5, 6 y 7 presentan una coloración variable, que se debe en lo fundamental al tipo de material parental y al contenido de materia orgánica. Los suelos son bien drenados (excepción Perfil 5).

#### 3.2 pH y cationes cambiables

Los valores de pH, CIC y cationes cambiables se presentan en el cuadro 2. Los perfiles 1, 2 y 4 tienen valores de pH inferiores a 4,73 en todos los horizontes, en algunos de ellos los valores decrecen con la profundidad y en otros aumentan; los perfiles 5, 6 y 7 los valores de pH son inferiores a 5,90 y aumentan con la profundidad. En el perfil 3 los valores de pH son inferiores a 7,90.

En todos los suelos el calcio cambiante presenta contenidos muy bajos, excepto en el perfil 3 que es alto, debido a sus valores de pH comprendidos entre 6,8 y 7,9. Los perfiles 2, 4, 5, 6, 7 presentan contenidos bajos a muy bajos en Mg, Na y K, el perfil 1 y 3 presentan contenidos medios a altos en Mg, Na y K. El porcentaje de saturación de bases en los perfiles

**Cuadro. 2. Propiedades físicas y químicas de los suelos estudiados en los Andes venezolanos**

Perfil	Horizonte	Prof. (cm)	Color	Estructura	Arena	Limo (%)	Arcilla	pH	CO	NT (g kg <sup>-1</sup> )	Ca	Mg	Na	K (cmol.kg <sup>-1</sup> )	CIC	CICE	AI	SB	SHI (%)
1	A	0-17	5YR3/6	bsa-m-f	57,6	14,8	27,6	4,2	26,3	1,4	1,35	1,80	0,06	0,68	9,2	6,29	2,1	42,3	54,0
	Bt	17-52	5YR3/6	bsa-m-f-md	20,9	31,5	47,6	4,3	11,8	0,7	0,00	1,10	0,05	0,32	9,2	7,19	5,1	15,4	78,6
	C1	52-85	5YR3/6	bsa-m-md	10,8	44,1	45,1	4,4	6,8	0,4	0,00	0,00	2,0	0,08	9,8	9,44	6,3	23,9	72,9
2	C2	85-175	5YR3/6	bsa-m-md	13,6	54,1	31,6	4,7	2	0,2	0,00	2,50	0,16	0,13	9,3	7,59	4,3	30,0	60,6
	A	0-10	10YR4/3	bsa-m-f	55,4	23,3	21,26	4,6	29,6	2	0,45	0,40	0,14	0,33	8,5	8,35	7,0	16,0	83,8
	Bt	14-40	10YR3/3	bsa-m-md	38,9	19,4	41,71	4,4	23,4	1,6	0,20	0,20	0,14	0,16	10,3	8,68	8,0	7,0	92,2
3	C	40-71	10YR3/4	bsa-d-f	40,95	22,9	36,12	4,3	21,1	1,4	0,15	0,20	0,13	0,13	9,75	8,14	7,6	5,63	93,4
	Ap	0-13	5YR3/3	bsa-m-miff	65,9	19,3	14,7	7,9	7		7,46	4,50	0,23	1,47	9,52	0	0	100	0
	Bw	13-21	5YR3/3	bsa-m-miff	63,7	19,3	17,05	7,6	4,2		8,1	4,53	0,33	0,55	9,53	0	0	100	0
4	2C	21-95	5YR4/3	ba-m-fmd	64,25	20,9	14,85	6,8	2,4		7,90	2,47	0,40	0,40	8,23	0	0	100	0
	A	0-35	10YR2/2	g a bsa-m-f	52,7	36,3	11,1	5,1	47,3	2,5	1,30	0,05	0,12	0,15	8,25	7,81	9,0	19,6	85,5
	2Cg	35-80	10YR5/6	bsa-d-f y ba-d-f	79,7	5,5	14,86	5,3	4,1	0,5	0,30	0,03	0,13	0,3	4,7	4,69	4,1	12,6	87,4
5	3Cg	80-110	5YR4/8	bsa-d-f y ba-d-f	63,5	22,2	13,61	6,1	1	0,1	1,20	0,34	0,16	0,24	3,94	3,25	2,0	17,8	73,0
	A	0-30	10YR2/2	bsa-m-f	55,9	32,01	12,1	5,1	57,1	3,5	0,50	0,15	0,18	0,20	13,8	13,0	12,0	7,49	92,1
	C1	30-50	10YR5/6	bsa-m-f	51,7	22,3	26,1	5,5	6,7	1,6	0,20	0,08	0,16	0,07	4,5	4,31	3,8	11,3	88,2
6	C2	50-100	10YR8/1	gl	67,8	19,4	12,75	5,9	1,5	0,2	0,20	0,07	0,13	0,03	3,5	3,43	3,0	12,3	87,5
	A	0-35	10YR4/2	bsa-m-md	49,7	37,9	12,36	5,6	30,4	1,9	0,10	0,56	0,10	0,10	8,25	7,16	6,3	10,4	88,0
	C1	35-80	2.5Y4/3	bsa-m-f	65,8	19,5	14,68	5,8	8,3	0,5	0,05	0,07	0,18	0,14	6,85	6,69	6,3	6,42	93,5
7	C2	80-110	2.5Y4/4	gl	48,8	29,7	21,43	5,9	1	0,1	1,50	0,58	0,25	0,19	7,45	6,62	4,1	33,8	61,9
	A	0-34	7.5YR2/5	bsa-d-f	49,8	28,2	21,9	4,6	93,7	6,6	0,20	0,21	0,06	0,15	7,55	5,54	5,0	7,15	90,3
	C1	34-60	2.5YR5/4	gl	66,3	32,7	9,9	5,7	8,2	0,4	0,20	0,05	0,03	0,06	4,11	3,34	3,0	8,27	89,8
	C2	60-90	5YR5/4	gl	70,2	19,9	10,1	4,4	8,2	0,4	0,20	0,04	0,03	0,06	4,25	2,33	2,0	8,0	85,8

\*Tipo: bsa = blocosa subangular, ba = blocosa angular, g = granular, gl = grano libre. Grado desarrollo: d = debil, m = moderado, rnf = moderado a fuerte. Tamaño: miff = muy fina a fina, f = fina, fmd = fina a media, md = media

1, 2, 4, 5, 6 y 7, generalmente, va de fuerte a muy fuertemente desaturados. El perfil 3 es muy débilmente desaturado. Este comportamiento está fundamentalmente relacionado con el medio de formación. El perfil 3 se corresponde a la zona seca de Lagunillas. El resto de los suelos se encuentra en zonas más húmedas y con materiales parentales ácidos (areniscas, limonitas, lutitas y rocas ígneas ácidas).

En los diferentes perfiles se muestra la importancia del aluminio como catión acidificante. A excepción del perfil 3, los porcentajes de saturación de aluminio son superiores a 50% (alta toxicidad por aluminio).

### 3.3 Mineralogía de la fracción arcilla

Los suelos presentan una composición mineralógica variada. Los difractogramas muestran la presencia de caolinita bien cristalizada y dominante, solamente en el perfil 2 (Figuras 2 y 3), con difracciones bien definidas y simétricas a 3,5 y 7 Å. En los otros perfiles se observa, fundamentalmente, en los horizontes A. Horizontes donde la alteración es más intensa por la acción de la materia orgánica, es decir por alteración fundamentalmente bioquímica. Un comportamiento similar, de aumento de caolinita en los horizontes A ha sido reportado por Oballos (1995) en los suelos de la cuenca del río Capaz. En la figura 4 se observan caolinitas alteradas con formas pseudo hexagonales.

Los minerales micáceos (mica-ilita, mica-vermiculita, vermiculita) son dominantes en los perfiles 3, 4 y 5. En las figuras 5 y 6 son claramente visibles las

características de las ilitas (láminas irregulares, espesor variable, angulosidad o subordenamiento y alteración con diferenciación laminar). En las figuras 7 y 8 se observa bien la abundancia de micas, en general poco alterada, estratificada y con diferenciación laminar. En las figuras 7 y 8 se muestran detalles de vermiculitas producto de la alteración de micas.

Los óxidos de Fe se presentan bajo la forma de goetita solamente en el perfil 1, como resultado de la herencia del material ferruginoso característico de la formación la Quinta (Figura 9).

El estudio mineralógico de la fracción arcillosa de los suelos investigados revela el siguiente orden global de importancia: Mica-ilita > hidromicas y materiales estratificados resultantes de su alteración > caolinita, goetita y materiales amorfos y criptocristalinos de aluminio. Los dos primeros grupos se relacionan genéticamente, mientras que la presencia de caolinita parece responder a mecanismos de herencia, esta arcilla está presente independiente del grado de evolución de los perfiles; las micas (Iltas) en su origen dependen fundamentalmente del material geológico subyacente (especialmente en formaciones de rocas lutíticas, metamórficas e ígneas félsicas).

## 4. Conclusiones

Las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos estudiados responden en lo fundamental a los elementos formadores material parental y clima. Los suelos son ácidos, desaturados

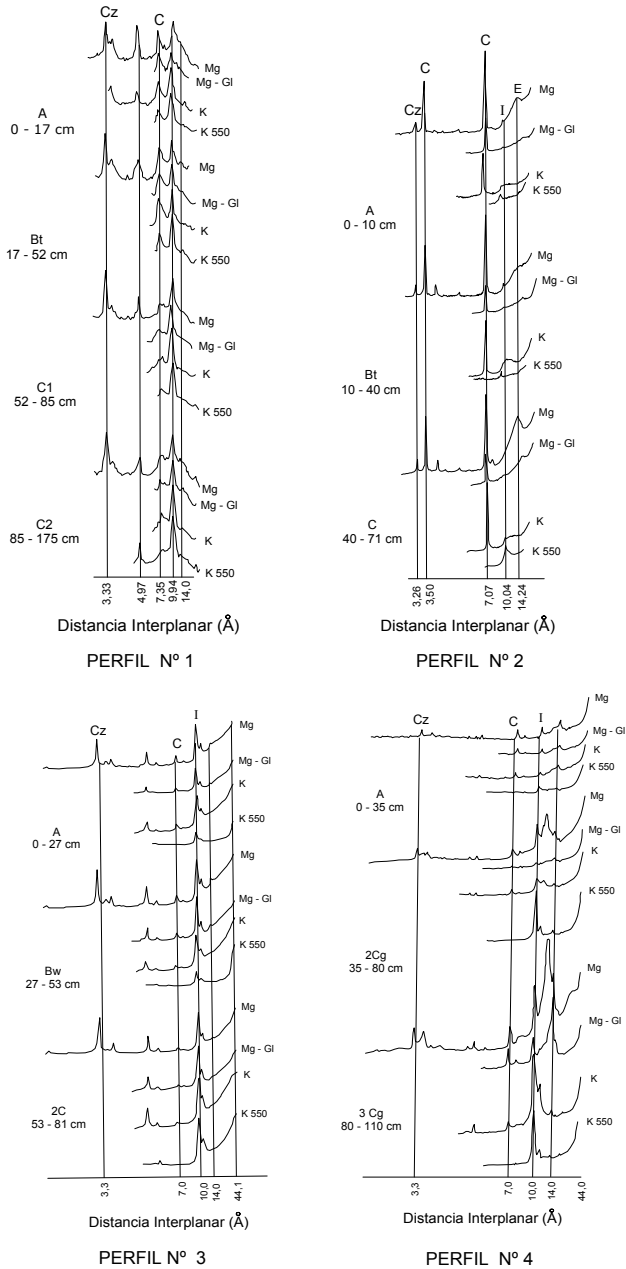


Figura 2. Difractogramas de la fracción arcilla ( $2 \mu$  en diámetro) para los suelos estudiados en los Andes Venezolanos. (Mg: Muestra tratada con Magnesio; Mg - Gl: Muestra tratada con Magnesio - Glicerol.; K: Muestra tratada con Potasio; K 550: muestra tratada con Potasio más calentamiento a  $550 \text{ }^\circ\text{C}$ ; Cz: Cuarzo; C: Caolinita; I: Mica-ilita; E: Estratificados  $10 - 14 \text{ } \text{Å}$ )



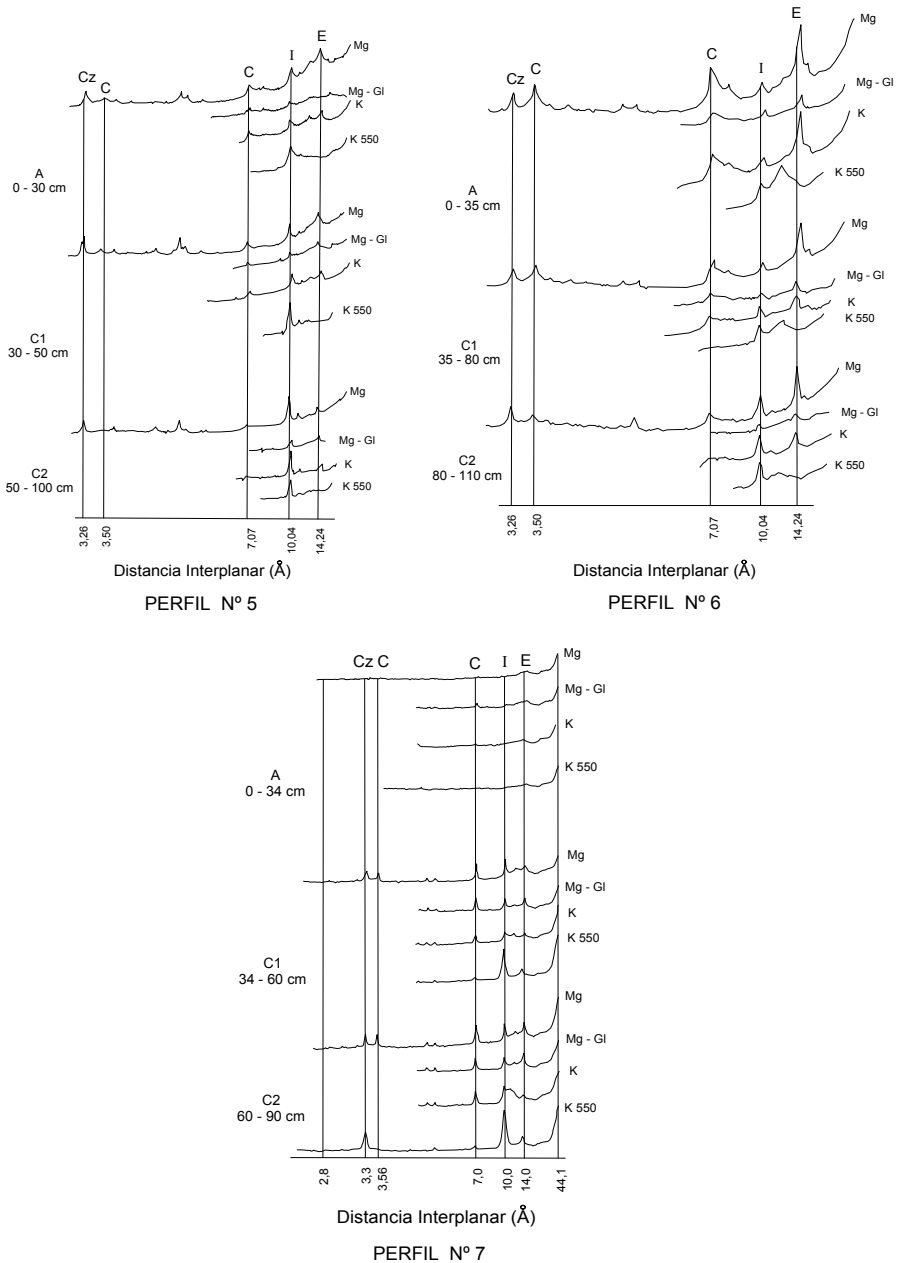


Figura 3. Difractogramas de la fracción arcilla (2  $\mu$  en diámetro) para los suelos estudiados en los Andes Venezolanos. (Mg: Muestra tratada con Magnesio; Mg - Gl: Muestra tratada con Magnesio - Glicerol.; K: Muestra tratada con Potasio; K 550: muestra tratada con Potasio más calentamiento a 550 °C; Cz: Cuarzo; C: Caolinita; I: Mica-ilita; E: Estratificados 10 - 14 Å)

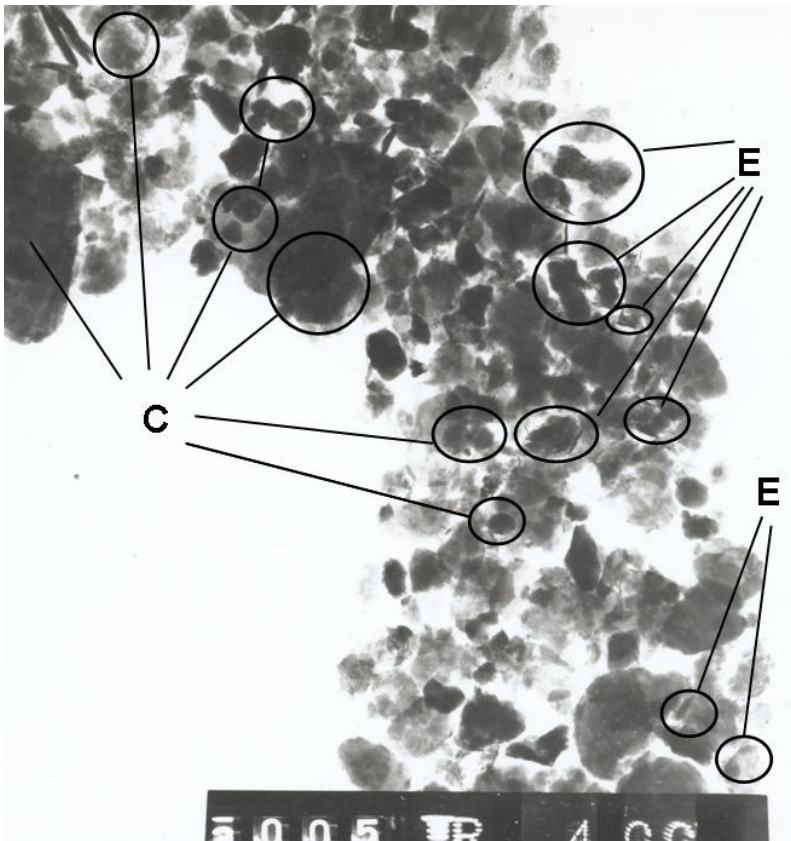
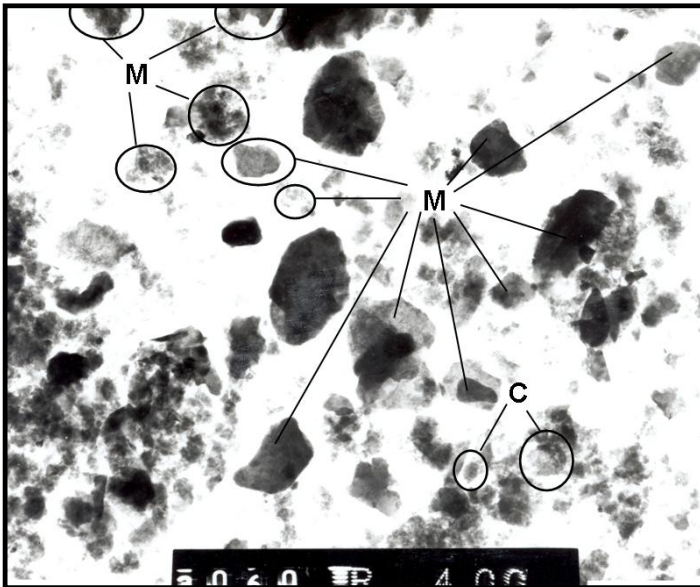
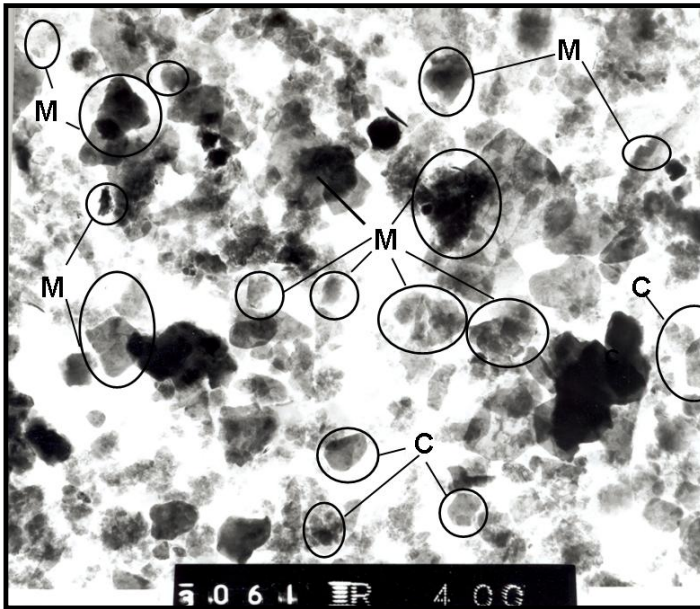


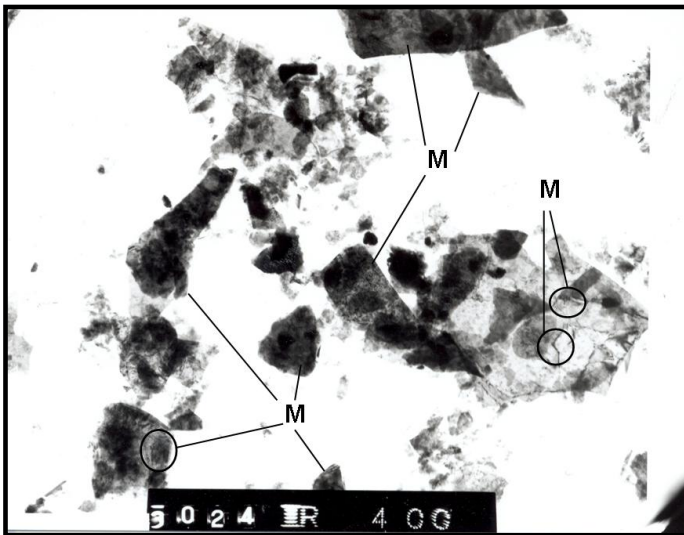
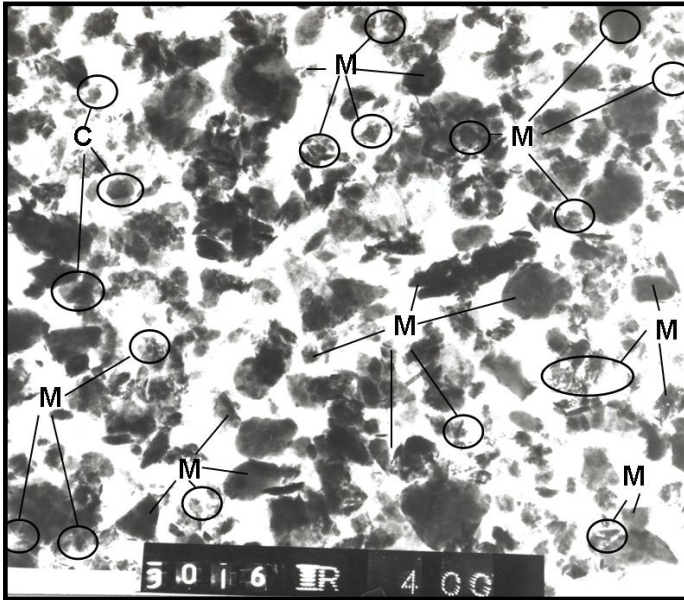
Figura 4. Perfil 2. Ustic Haplohumults, esquelético arcilloso, caolínico, isotérmico. Michelena (Táchira). Caolinitas (C) y Esmetititas (E) con diferentes grados de cristalización y tamaño. Horizonte C

y con altos contenidos de Al, excepto para el suelo estudiado en la zona seca de Lagunillas, medio que limita la lixiviación y favorece la acumulación de las bases en el suelo. La composición mineralógica de la fracción arcilla de los suelos investigados revela el siguiente orden global de importancia: Mica-ilita > hidromicas y materiales estratificados resultantes de su alteración > caolinita, goetita y materiales amorfos y criptocristalinos de aluminio.

Las micas-ilitas, hidrómicas y materiales estratificados se relacionan genéticamente; es decir, se corresponden con la secuencia de alteración de las micas. La presencia en cantidades importantes, en algunos suelos, de caolinita bien cristalizada o de goetita se asocia fundamentalmente a mecanismos de herencia. La abundancia de minerales micáceos es indicativa de un bajo a moderado grado de evolución de los suelos.



Figuras 5 (superior) y 6 (inferior). Perfil 3. Typic Haplocambids, franco fino, micáceo, isohipertérmico, Lagunillas (Mérida). Mica-ilita (M) y Caolinita (C) en el horizonte Ap. Claramente visibles las características morfológicas de las illitas: Láminas irregulares, espesor variable, angulosidad o sub-redondeamiento y alteración con diferenciación laminar (en círculos). Caolinita (C) está bien cristalizada y presenta formas pseudo-hexagonales en varios cristales



Figuras 7 (superior) y 8 (inferior). Perfil 4. Aquic Dystrudepts franco grueso, micáceo, en el límite isofrígido, isomésico. Mucubají (Mérida). Superior: Horizonte Ah. Se muestra abundante mica (M) en general poco alterada, estratificada y, en algunos casos (entre círculos), fragmentada y con diferenciación laminar. Algunas caolinitas (C) están bien definidas morfológicamente (círculos). Inferior: Horizonte 3Cg: Detalle de la estructura superficial de los minerales micáceos; se marcan (círculos) las separaciones laminares afectadas por alteración, hidratación y pérdida de K



Figura 9. Perfil 1. Typic Haplohumults, esquelético arcilloso, ílitico, isomérico. Michelena (Táchira). Horizontes superficiales (A). Goettita bien cristalina, opaca y con formas aciculares, en. Magnificación total: 5000 X

## 5. Referencias citadas

- 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*. **Can. J. Soil. Sci.** 79: 571-792.
- BEUTELSPACHER, H. and H. W. VAN DER MAREL. 1968. **Atlas of electron microscopy and their admixtures**. Elsevier Publ. Co. Amsterdam. 333p.
- BRAY, R. H. and F. T. KURTZ. 1945. *Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil*. **Soil Sci.**, 59: 39-45
- DOZGOREN, N. S.; AYDIN, A. and J. MALPAS. 2002. *Distribution of clay minerals along a weathered pyroclastic profil, Hong Kong*. **Catena**. 50: 17-41
- GRAHAM, R. C.; HERBERT, B. E. and J. O. ERVINS. 1988. *Mineralogy and incipient pedogenesis of Entisol in anorthosite terrane of the San Gabriel Mountain, California*. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 52: 738-746.
- KITTRICK, J. A. and E. H. HOPE. 1963. *A procedure for the particle size separation of X ray diffraction analysis*. **Soil Sci.** 96: 318-325.

- NATIONAL SOIL SURVEY SERVICE. 1966. **Soil Survey Laboratory methods manual**. Soil Survey Inv. Rep. N° 42. USDA. Washington DC. 693p
- OBALLOS, J. 1995. *Caractérisation des sols de la région de Las Cruces-Santa Elena de Arenales (Mérida, Venezuela). Contribution à la connaissance de la pédogenèse en montagne tropical humide*. Universidad de Toulouse-Le Miral. Toulouse-Francia. Tesis Doctoral. 204p. (Inédito).
- OCHOA, G.; OBALLOS, J.; JAIMES, E. 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.
- SOIL SURVEY STAFF. 1999. **Soil Taxonomy**. Second Edition. Dept. Agric. Soil Conserv. Serv. Agriculture Handbook, N° 436. 868p.
- STOOPS, G.; VANRAST, E. and K.VERBEEK 2001. *Pedology soils within the spray zone of the Victoria Falls Zinbabwe*. **Catena**. 46: 63-83.