

ENSAYO SOBRE TIPOLOGÍA DE SUELOS COLOMBIANOS - ÉNFASIS EN GÉNESIS Y ASPECTOS AMBIENTALES -

por

Dimas Malagón Castro*

Resumen

Malagón Castro, D.: Ensayo sobre tipología de suelos colombianos -Énfasis en génesis y aspectos ambientales- Rev. Acad. Colomb. Cienc. **27**(104): 319-341. 2003. ISSN 0370-3908.

Colombia presenta una muy amplia diversidad de suelos. Aquí se tipifican aquellos que, por su grado de evolución, representan las condiciones ecológicas dominantes de las regiones naturales continentales del país. No se comenta la génesis de los Entisoles e Inceptisoles, ubicuos en todo el territorio nacional.

Inicialmente se discute el marco conceptual para el entendimiento integral de los suelos del país, en función de los factores ambientales y de los procesos evolutivos resultantes de su acción; posteriormente se tipifican por regiones y, en la parte final, se analizan, mediante índices de evolución para establecer sus relaciones ambientales en las diferentes regiones naturales de Colombia.

Palabras clave: suelos colombianos, génesis de suelos, tipología, regiones naturales, clasificación de los suelos

Abstract

Colombia has ample soil diversity related to its varied and contrasting Natural Regions and environmental conditions. The article typifies those soils with the highest evolutive development that tend to reflect pedological climax state in each Natural Colombian Region. Entisols and Inceptisols genesis was not considered due, both, to their ubiquitous presence in the country and low evolution development.

The article initially analyzes the integral Colombian soil knowledge derived from the interaction of it's soil factors and processes, and concludes with its environmental relationships between Natural Colombian Regions.

Key words: Colombian Soils, Soil Genesis, Tipology, Natural Regions, Soil Classification

* Subdirector. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Carrera 30 No. 48-51. Bogotá. Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Introducción

En el título se hace referencia a dos palabras: ensayo y tipología; vale la pena darles la acepción adecuada. La primera, género literario de carácter didáctico, busca en este caso, presentar los suelos del país en un marco teórico, deductivo- inductivo, histórico; la segunda hace referencia al método ejemplar ideal que reúne, en alto grado, los rasgos y caracteres esenciales o peculiares de las clases de suelos, en este caso los de mayor evolución, que tienden al clímax pedológico en las regiones naturales de Colombia.

El modelo seguido es de naturaleza conceptual (estructural), cuya función es descriptiva-interpretativa y cuyo diseño es idealizado. Parte importante del modelo es la relación causa-efecto (factores ambientales - procesos - suelos), mediante un razonamiento deductivo (monogénesis) bajo condiciones actuales, o inductivo (poligénesis), generalmente asociado con medios preholocénicos (pleistocénicos y plioleistocénicos, como los más frecuentes).

En un artículo previo, publicado en esta revista (Malagón, 1998), se expusieron los planteamientos básicos que sustentan la génesis - evolución de los suelos y sus características; sobre estos principios se tipificarán algunos de los que componen las principales regiones naturales del país, con énfasis en los de mayor grado de evolución.

El desarrollo del tema se inicia con una síntesis del marco conceptual sobre el medio de alteración en el país y sus procesos derivados, prosigue con la tipificación de los suelos resultantes derivados de él y finaliza con un análisis de sus relaciones ambientales, establecidas mediante índices de evolución en las diferentes regiones naturales de Colombia.

Marco conceptual sobre el medio de alteración en Colombia

Los suelos están inscritos en la zona de contacto de la atmósfera y la superficie de la corteza terrestre; en consecuencia, se derivan de las interacciones entre ellas en el tiempo y en el espacio.

La configuración actual de la atmósfera (N, O₂, CO₂, vapor de agua), a partir de su composición inicial: H, He, N, CH₄, NH₄, establece *reacciones específicas de alteración* al obrar sobre la superficie de la corteza terrestre, integrada fundamentalmente por silicatos y aluminosilicatos, productos de evolución mediante diferenciaciones geoquímicas y térmicas. Los organismos y su evolución complementan este escenario de la vida, cuya síntesis integral constituye el suelo.

Como resultado de lo expresado, la acepción del concepto suelo como cuerpo natural, está referida a su *composición* (sólidos, líquidos, gases), localización *espacial* (superficie de la corteza terrestre), *procesos* que lo diferencian de los materiales que lo originan (adiciones, pérdidas, translocaciones y transformaciones), o por la posibilidad de soportar plantas superiores en su ambiente natural (Soil Survey Staff, 1999). La formación, evolución y dinámica del suelo está regida por leyes naturales asociadas a él (intercambio de energía, reacciones químicas y bioquímicas, intercambio iónico, flujos gravitacionales, retención capilar, etc.).

Al constituir el suelo un sistema integral, dinámico y abierto, responde a *causas* (factores ambientales) que, en el tiempo y en el espacio, generan *efectos* diferenciables de los materiales a partir de los cuales se forma; estos (horizontes) definen los suelos (figura 1). Es obvio que al cambiar los factores en el tiempo, cambian los suelos; ello es común, por ejemplo, durante los cambios climáticos en el Cuaternario, los cuales no sólo se asocian con el clima sino con los organismos correlacionados (Figura 1, parte inferior).

En la figura 2 se presentan ejemplos de corazas petroféricas, típicas de climas con estacionalidad marcada (Birkeland, 1999), producto probable de condiciones más húmedas que las actuales (posiblemente del Pleniglacial medio), seguidas por la exposición al aire y favorecidas por procesos erosivos en la altillanura de los Llanos Orientales (Malagón, 1987, Pulido et al, 1990) y de suelos policíclicos (*Durustalfts*) en la formación Mondoñedo, en cercanías de Mosquera (Cundinamarca). Estos últimos correspondientes al Pleniglacial, los cuales fosilizan

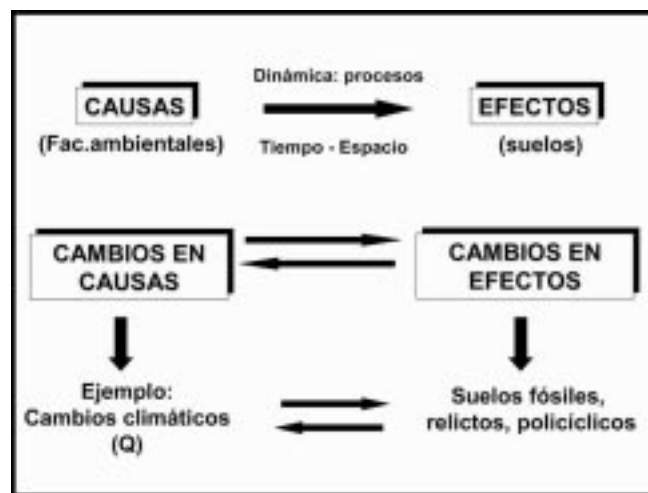


Figura 1. El suelo como sistema integral, dinámico y abierto. Relaciones causa- efecto: monogénesis - poligénesis.

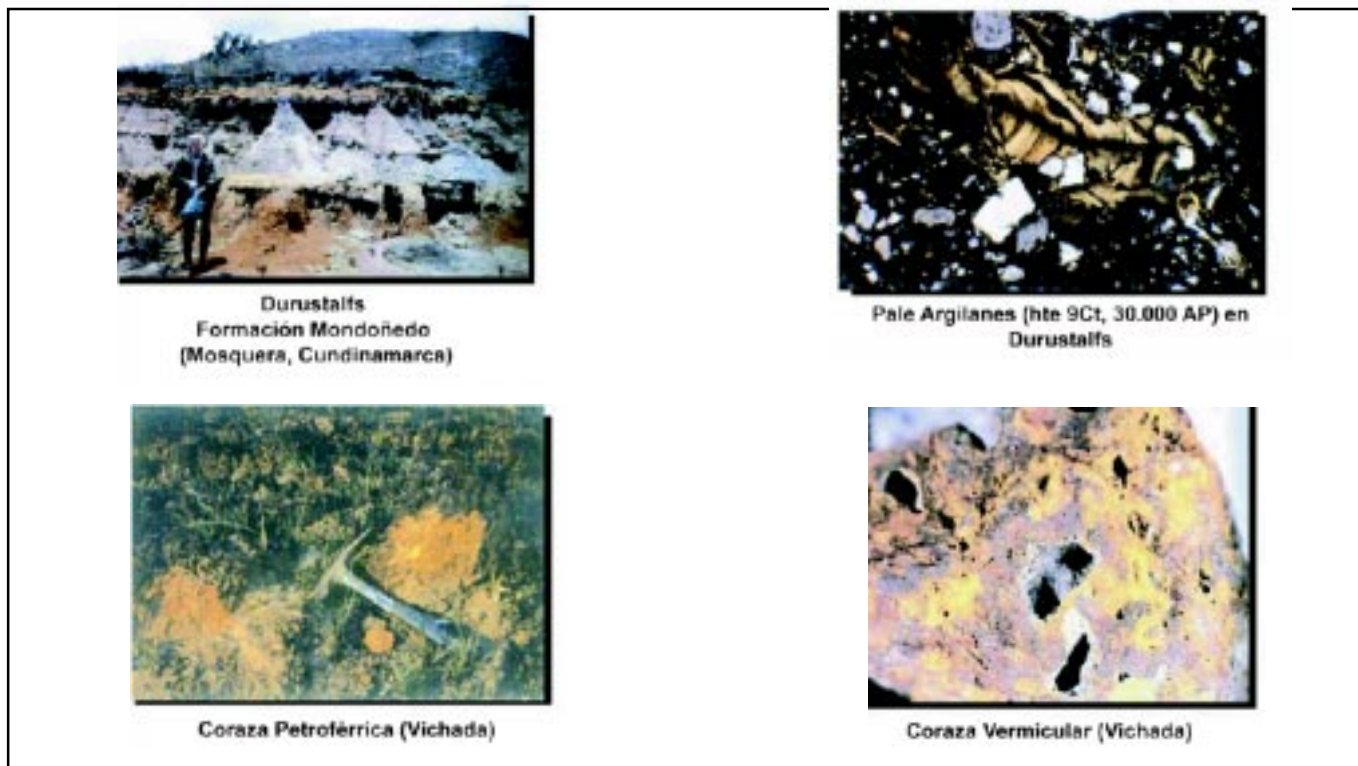


Figura 2. Paleosuelos y fenómenos relacionados: ejemplos de paleargilanes en Ustalfs y corazas petroféricas en suelos del Vichada, Colombia.

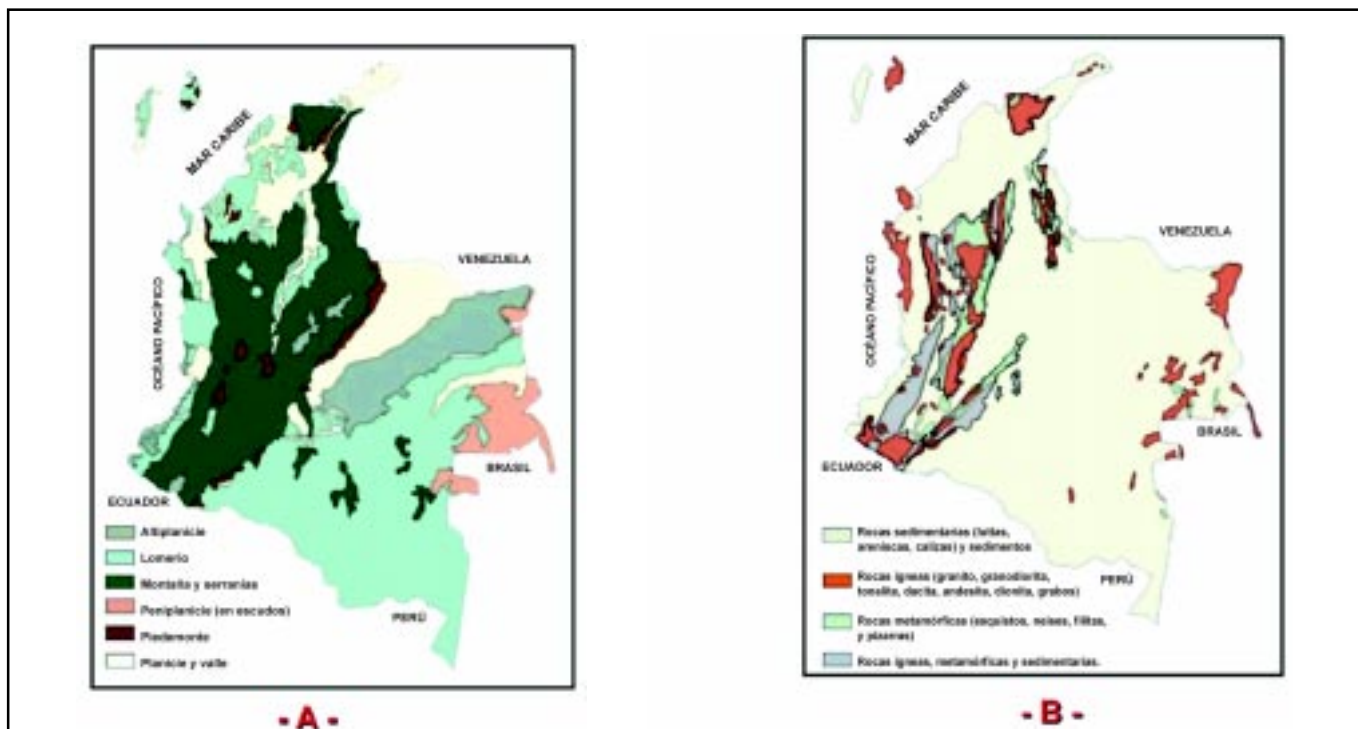


Figura 4. En la Figura 4 A se presentan los principales tipos de paisajes geomorfológicos de Colombia. En la 4 B se realiza una aproximación a las formaciones superficiales del país, como explicación de los materiales de origen de los suelos; en ellas no se delimitan los depósitos de piroclastos, por razones de escala.

Alfisolos - Ultisolos del glacial temprano, interglacial o aún más antiguas (Malagón, 1992).

El estudio de la génesis de los suelos implica identificar y caracterizar el material que los ha originado, en un contexto geomorfológico; posteriormente, establecer las características y propiedades de los componentes del suelo y sus variaciones en profundidad, a medida que avanza su evolución. Ambas hacen parte del *perfil de alteración*, como resultado de las reacciones producidas por las *condiciones bioclimáticas* al actuar sobre las *formaciones superficiales* y sobre sus *geoformas* asociadas.

El perfil geo-bioquímico de alteración

El suelo, considerado en sentido amplio (cobertura pedológica), constituye la parte superior del perfil de alteración. Éste está integrado por zonas con grados variables de meteorización; su estudio comprende la tipificación de las rocas basales y de los productos resultantes de su transformación: frente de meteorización, saprolita, suelo (Thomas, 1994, Birkelan, 1994).

La figura 3 sintetiza los procesos de alteración tanto *geoquímicos* como *bioquímicos*. Los primeros hacen referencia a la *transformación de minerales* en las fracciones arenosa, limosa y arcillosa, de acuerdo con las secuencias establecidas por Goldich (1938) y Jackson (1969), y a la *síntesis* o neoformación de arcillas, oxihidróxidos y materiales amorfos, acorde con el *medio de alteración* y sus características fundamentales de pH y concentración de elementos, definidos estos por su dinámica propia.

En la figura 4 (A) se presentan los principales *tipos de paisajes* (Zinck, 1974 e IGAC, 1995) en Colombia y los *materiales* que los constituyen, con referencia específica a su zona *superficial*, materiales parentales, asociada con el origen de los suelos.

Los paisajes dominantes del país son los de lomerío (35%), montaña (25.5%), valles y planicies (20%); ellos corresponden al 80.5% del territorio; el 19.5% restante está representado por piedemontes, altiplanicies y superficies de aplanamiento. La morfología y génesis –evolución de estos paisajes– influye en las de los suelos debido a la estrecha correlación suelo-paisaje, en la cual la *estabilidad* de las geoformas (pedogénesis progresiva o regresiva) y sus *materiales* constituyentes, coadyuvan a la evolución de los suelos.

En la figura 4 (B) se establecen los principales tipos de materiales que originan los suelos. Resalta el hecho vinculado con las *rocas sedimentarias, sedimentos* y

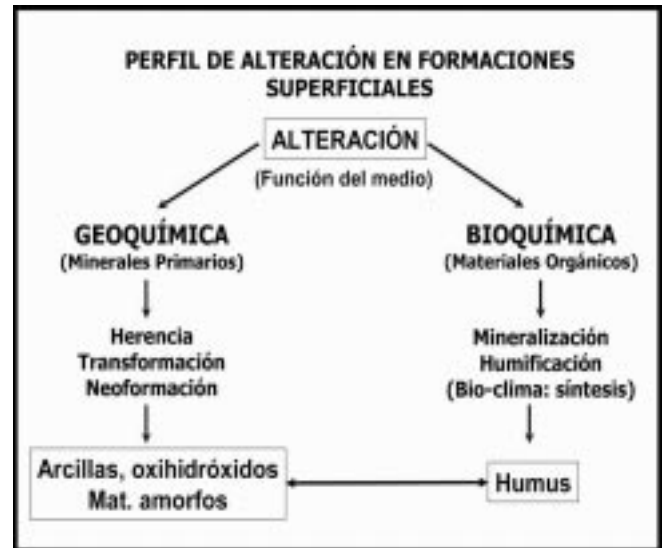


Figura 3. El proceso de alteración sobre las formaciones superficiales, aspectos geoquímicos y bioquímicos.

piroclastos, los cuales constituyen más del 80% de los materiales formadores de los suelos colombianos (IGAC, CORPOICA, 2002); el porcentaje restante incluye rocas ígneas, metamórficas y asociaciones de ellas.

Los materiales comentados establecen diferencias de meteorización química y producen un contraste evidente, por ejemplo, entre los sedimentos cuarzosos, caoliníticos y sesquioxídicos de la altillanura (Llanos Orientales) y las rocas volcánicas fácilmente alterables de las cordilleras (Wirthmann, 2000).

La alteración geoquímica conduce, en síntesis, a definir la composición mineralógica de los suelos y de sus materiales de origen.

La dinámica *bioquímica* establece la relación entre los organismos vegetales y animales y la parte orgánica del suelo, a través de los compuestos húmicos y no húmicos que la caracterizan y, en muchos casos, explican tanto su fertilidad como su dinámica evolutiva.

En esta dinámica sobresalen por su importancia, los *compuestos húmicos* (Duchaufour, 1998) integrados por ácidos fúlvicos, húmicos y huminas, resultado del tipo de alteración (hidrólisis neutra, acidólisis, complejólisis) y de la síntesis bioquímica (humificación), en función de las características bioclimáticas de cada región (vegetación, composición florística, aporte de biomasa, fauna edáfica, microorganismos y condiciones del medio físico: pH, bases de cambio, etc.).

Los productos resultantes se resumen en el *tipo de humus* predominante, el cual produce diferentes acciones en los suelos, vinculadas tanto con su génesis - evolución (mull ándico de los Andisoles, mor en los Espodosoles, mull vértico en los Vertisoles, etc.), como en los tipos, clases y grados estructurales de los suelos y con su fertilidad.

Ello es especialmente aplicable a los suelos referidos como de “ciclo corto” (Duchaufour, 1998) (holocénicos) de las cordilleras colombianas, mucho menos válido para la altillanura de los Llanos Orientales y de gran importancia, más para la fertilidad de “ciclo cerrado” que, para la evolución de los suelos en las regiones de lomerío amazónico y en algunas zonas del Andén Pacífico.

Los productos resultantes de la alteración geoquímica y bioquímica generan, a su vez, interacciones, reacciones y definen en gran parte, la tipología de los suelos.

Los aspectos tratados en los párrafos previos no pueden desvincularse del *clima* y de sus efectos sobre la *vegetación* y sobre los *organismos asociados* (biomas, zonas de vida, formaciones vegetales, ecosistemas), ni de sus cambios en el tiempo (presentados magistralmente para Colombia por Van der Hammen, 1974, 1981, 1992).

Aspectos bioclimáticos

Los aspectos *bioclimáticos*, comentados a continuación, hacen referencia al *clima* general actual del país y a

la vegetación y sus *organismos* asociados. Ellos han sido calificados como los agentes dinamizadores más *activos* en la pedogénesis (IGAC, 1995), en contraste con aquellos que reciben su acción (perfil de alteración), cuya dinámica temporal es mucho menor. El conjunto integrado por los aspectos que definen el bioclima y los inherentes a las formaciones superficiales y sus perfiles de alteración, establecen el *marco natural*, no antrópico (por la complejidad que su intervención genera) para el estudio de la tipología de los suelos del país.

La figura 5 representa, de manera general, la distribución de las provincias de humedad en Colombia (relaciones de promedios anuales de evapotranspiración potencial y precipitación total, IGAC, CORPOICA, 2002). En la Tabla 1 se resumen las principales variables climáticas del país, a partir de las cuales se estiman los *regímenes de humedad y temperatura* actuales que caracterizan los suelos colombianos.

Las conclusiones por resaltar sobre el tema son las siguientes:

- El 80% de Colombia se encuentra en las provincias húmedas (53%), muy húmedas (21.2%) y pluviales (26%). La provincia húmeda, la mayor del país, se halla (91%) en el piso cálido. Éste, a su vez, representa el 80% del país.

Tabla 1. Distribución de las Provincias de Humedad por pisos térmicos y porcentaje de estos en el país continental.

Piso térmico (msnm) y porcentaje	Provincias de humedad	Superficie	
		(ha)	%
Cálido (0-1000): 80	Árida y semiárida	964.903	0.9
	Muy seca	174.335	0.2
	Seca	18.474.043	16.2
	Húmeda	55.401.050	48.6
	Muy húmeda	14.036.686	12.3
	Pluvial	2.062.662	1.8
	Subtotal	91.113.679	80.0
Medio (1000-2000): 8.9	Seca	320.904	0.3
	Húmeda	2.811.351	2.5
	Muy húmeda	5.108.258	4.4
	Pluvial	1.911.402	1.7
	Subtotal	10.151.915	8.9
Frío (2000-3000): 6.6	Seca	624.941	0.6
	Húmeda	1.403.831	1.2
	Muy húmeda	4.221.600	3.7
	Pluvial	1.295.497	1.1
	Subtotal	7.545.869	6.6
Muy frío (3000-3600) y extremadamente frío (3000 - 4700): 2.5	Húmeda y muy húmeda	1.689.756	1.5
	Pluvial	1.111.780	1.0
	Subtotal	2.801.536	2.5
Subnival y Nival > 4700: 0.2	Muy húmeda y pluvial	227.578	0.2
Otras áreas *		2.116.773	1.8
	TOTAL (estudio) **	113.957.350	100.0

* Corresponde a cuerpos de agua, ríos y zonas urbanas. Fuente: IGAC, CORPOICA, 2002

** Área total del país: 114.174.800 ha. Error del estudio: 0.002

- Las provincias secas a áridas integran el 18.2% de Colombia. Entre ellas sobresale la seca con 17.1% del territorio.
- El clima ambiental, sintetizado previamente, influye considerablemente tanto en los regímenes de humedad y temperatura de los suelos, como en algunas de sus características, por ejemplo en su pH, así:
 - * El régimen *isohipertérmico* es el dominante en Colombia pudiéndose estimar alrededor del 80-85%; siguen a continuación el *isotérmico* (11-12%), *isoméxico* (\approx 6%) y los más fríos, *isofrígido* y *crítico* (1-1.5%).
 - * El régimen predominante de *humedad* es el údico (incluyendo el perúdico), estimado, no determinado, en cerca del 65 - 70% del país; le sigue el *ústico* (con sus transiciones tanto hacia el údico como hacia el arídico) (rango 15 - 20%) y, presentándose en porcentajes bajos (entre 1 y 2%) el *arídico*. Las condiciones ácuicas (presentes en zonas depresionales y en vecindades de cuerpos de agua) se distribuyen en todo el país; se estiman con datos del IGAC, 2003, en cerca de 8.626.700 ha (7.6% del territorio).
 - * Como consecuencia de lo expuesto, en el país predominan *suelos ácidos* y *extremadamente ácidos*, (pH menor de 5.5) sobre los moderadamente ácidos y neutros (pH 5.5 - 7.5), los básicos y alcalinos.

Las condiciones climáticas comentadas se asocian con los *biomas* más representativos del país y, en consecuencia, con su aporte de *biomasa*; ésta de acuerdo con su cantidad-composición y mediante procesos de mineralización-humificación, con la intervención de la edafofauna, explica el contenido de los *materiales orgánicos* de los suelos. Ello es especialmente válido para condiciones donde la actividad humana no ha causado intervención significativa (48.8% del país, IGAC, CORPOICA, 2002). Ambos temas se presentan en la figura 6 (A) y (B).

Tipología de suelos en las regiones naturales de Colombia

Región de la Orinoquia

Su evolución y desarrollo están ligados con el origen de la megacuena sedimentaria localizada entre el Escudo de la Guayana y el flanco este de la Cordillera Oriental. Predominan los depósitos cuaternarios de origen fluvial, las rocas sedimentarias del Terciario (areniscas, lodolitas y calizas) que reposan sobre sedimentitas del Cretáceo, Paleozoico y rocas cristalinas félsicas del Precámbrico (Geotec, s. f.).

Sobre dichos materiales se desarrollan paisajes de piedemonte, extensas altiplanicies plioleístocénicas, con disección variable (figura 7), planicies aluviales y eólicas parcialmente disectadas y cortadas por largos y estrechos valles aluviales recientes y actuales, asociados a los grandes ríos (Mendivelso, 2003).

Los fallamientos sobre los cuales discurre el río Meta establecen 2 subregiones claramente diferenciadas: la altillanura (altiplanicie) y la denominada Orinoquia inundable. A ellas se hace referencia específica en este aparte del estudio.

Sobre ambas subregiones domina el bioma de *sabanas tropicales* (figura 7), con gramíneas naturales de los géneros *Trachypogon*, *Andropogon*, *Axonopus*, *Paspalum* y *Leptocoryphium*; su predominio depende de la humedad del suelo y Chaparro (*Curatela americana*), y Peralejo (*Byrsonima crassifolia*) como especies arbustivas dominantes en las zonas no hidromórficas. El aporte de *biomasa* es escaso (2.2 a 3.8 ton/ha/año, en sabanas herbáceas (Rao et al, 2000); pero puede incrementarse a 28 o más ton/ha/año, bajo otras coberturas en función del régimen de lluvias, longitud de la estación seca y los nutrientes disponibles (Lamotte, 1987). Dicho aporte explica, de manera general, un horizonte ócrico en la superficie de los suelos, el cual aumenta su contenido en materiales orgánicos a medida que se establece la transición a las zonas con mayor precipitación o a aquellas bajas y a los esteros; lugares, estos últimos, donde la formación vegetal asociada al “bosque de galería” aporta mayor biomasa, se incrementan radicalmente los contenidos de humedad y los suelos presentan horizontes úmbricos o hísticos. En la *altillanura* el tipo de humus es el mull ácido tropical, con composiciones promedias de ácidos fúlvicos a ácidos húmicos superiores a 1.2; su contenido en humina es inferior a 50%, salvo en zonas con recubrimientos eólicos donde supera el 60% (De Becerra, 1986); la humificación supera el 80% en la altillanura poco disectada (Andreux & De Becerra, 1975) y 40-60% en la disectada (De Becerra, 1986).

El clima dominante en la zona abarca los Awi y los Ami (Köppen, 1954), vale decir tropical (26 - 28°C) con estacionalidad marcada y de tipo monomodal (figura 7), sus promedios de precipitación incrementan de Oriente a Occidente y de Norte a Sur desde 2772 mm en cercanías al piedemonte (estación La Libertad), 3048 (occidente del departamento de Casanare) y disminuyen hasta 1700 (Puerto Carreño, IGAC, 1983a), 1532 (Arauca), para aumentar en El Tapón a 2871 mm, al extremo sur oriental. El clima define, en consecuencia, épocas lluviosas que influyen en la pérdida de los pocos elementos solubles o intercambiables de los suelos, generando alta acidez (ran-

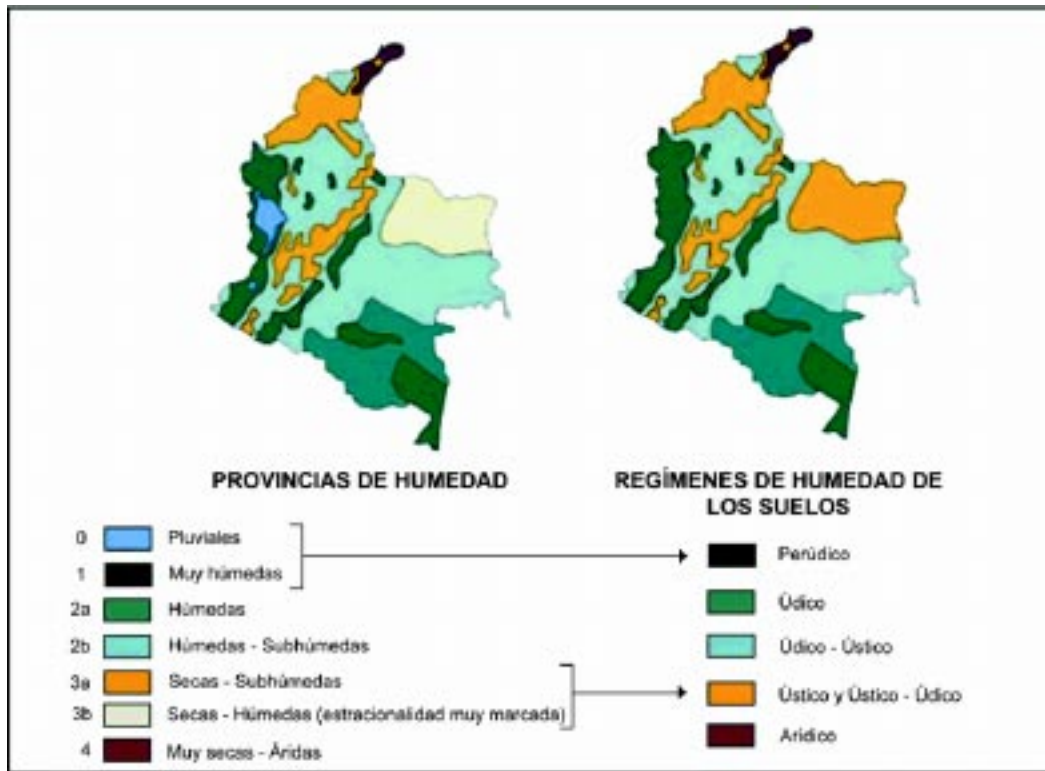


Figura 5. Aproximación a las provincias y regímenes de humedad de los suelos colombianos. No se presentan condiciones ni regímenes ácuicos. Tomado parcialmente de Vélez, et al (2000).

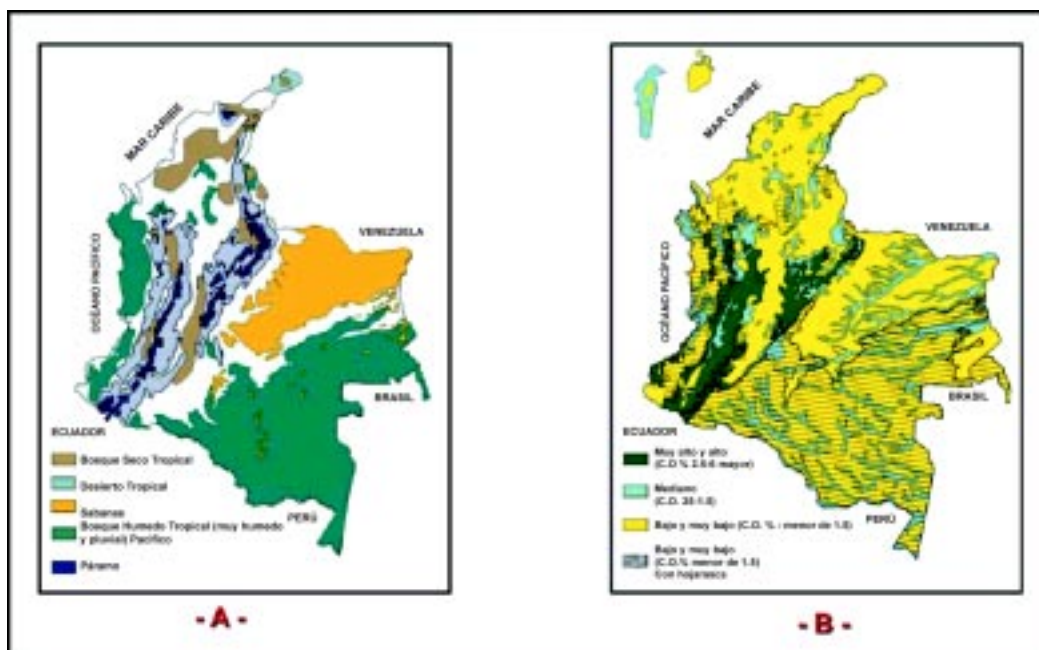


Figura 6. 6 A. Biomas de bosque húmedo tropical, bosque seco tropical, andinos, desierto tropical y ecosistemas de páramo en Colombia (Etter, 1997 a y b, Van der Hammen, 1997, Espinal & Montenegro, 1977, Inst. Von Humboldt, 1997). 6 B. La materia orgánica (C. O.) de los suelos colombianos (IGAC, 1988). En la Amazonia y en el Andén Pacífico (achurados) el bajo contenido de C. O. (horizonte A), se compensa por la capa de hojarasca (horizonte O).

gos dominantes de pH inferiores a 5, pudiendo llegar, en profundidad, hasta 5.5) y épocas secas que favorecen tanto la polimerización de sustancias húmicas como el endurecimiento de horizontes y la cementación (materiales petroféricos) a partir de la deshidratación de compuestos de hierro. Los cambios climáticos durante el Cuaternario también han ocasionado la formación de horizontes petroféricos, algunos de ellos, (zona del Alto Menegua, por ejemplo), evidencian la inversión del relieve y protegen lomas resultantes de dichos procesos. En otros casos, recubrimientos arenosos en la Orinoquia se asocian con los climas más secos del pleniglacial (21.000 a 14.000 años A. P. **Van der Hammen**, 1992) que antecedieron al Holoceno y causaron la acción eólica.

La alteración en la altillanura plana o disectada no afectada por hidromorfismo, presenta **grado** avanzado, manifestado en la composición mineralógica de arenas y limos (prácticamente cuarzo con trazas de fitolitos en la fracción ligera y en la fracción pesada de circón, turmalina, anatasa y materiales opacos de Fe (figura 7). (**IGAC**, 1991). En la fracción arcillosa predominan caolinita, oxihidróxidos de Fe y Al, intergradados 2:1:1, con aluminio interlamilar, pirofilita y gibsita (**IGAC**, 2000b). Ello corresponde fundamentalmente a procesos dominantes de **ferralización** (formación de Oxisoles: *Haplustox* (19.6%), *Hapludox* (14.5%), como prototipos, y algunos *Haplaquox* y *Haploperox*), mediante procesos de alta transformación y pérdida de elementos: Ca, Mg, K, Na y Si, entre otros y, en mucha menor extensión, **ferruginación** (proceso responsable de la formación de Ultisoles: *Kandiudults*, 1.7%, *Hapludults*, 0.9%, *Endoaquults*, 0.8% y *Paleudults*, 0.6%, relacionado con translocación de arcillas, alteración avanzada y alta acidez, que han obrado desde el Plio-Pleistoceno, bajo la acción de cambios climáticos. Al interior de este proceso se manifiestan, en algunas zonas depresionales, subprocesos de óxido-reducción y plintización. La **Podzolización** (queluviación de Al y Fe en medios muy ácidos, arenosos y su posterior iluviación), conduce a la formación de algunos Espodosoles, en especial Aquods en cerca del 1% de los suelos. Los Inceptisoles distróficos (*Dystrudepts* y *Dystrustepts*), transicionales a los Oxisoles, son muy frecuentes.

Indicadores de estos procesos además de los mineralógicos, son los asociados a la muy baja capacidad de intercambio de cationes, CIC: valores inferiores a 4 me/100 g. s. de la capacidad efectiva (CICE) y 9.6 de la determinada a pH 7 (CICA), en horizontes subsuperficiales (**IGAC**, 1980, 1983a, 1991).

El efecto de la marcada estacionalidad climática, su relación con la vegetación de sabana tropical y el esta-

blecimiento del mull ácido como tipo de humus, ha generado, en unión con la alteración avanzada, características de muy baja fertilidad, tanto actual como potencial, lo cual conlleva prácticas agronómicas específicas fundamentadas en establecer, mantener o mejorar, variedades de plantas adaptadas a estas condiciones (**Cortés**, 1982).

La **Orinoquia inundable**, por otra parte, caracterizada por sus planicies aluviales y eólicas, desarrolla suelos directamente influidos, ya sea por sus condiciones climáticas estacionales (1800 a 2500 mm y 27°C en Casanare y 1532 mm en Arauca) o por su inundabilidad, especialmente referida a zonas depresionales mal drenadas y con mayores porcentajes de carbono orgánico (1 - 2%, exceptuando los *Psamments*) si se comparan con los suelos de la altillanura (0.5 - 1%). Los fenómenos de reducción y óxido-reducción, establecen los procesos fundamentales y las características de sus suelos (*Endoaquepts*, *Endoaquults*) (**IGAC**, 1986, 1993). Las zonas con recubrimientos eólicos presentan suelos de muy poca evolución (diferentes *Psamments*); los *Dystrudepts* abundan en toda la subregión.

La figura 8 muestra aspectos de los principales paisajes y de los suelos bajo condiciones hidromórficas.

Para establecer la tipología de los suelos de mayor evolución y definir indicadores de la misma, se analizaron sus componentes mineralógicos y la CIC. Los primeros ponen en evidencia contenidos muy altos en cuarzo ($\approx 90\%$), pero con dos diferencias fundamentales en relación con la altillanura: valores cercanos al 5% de feldespatos (indicadores de menor grado evolutivo), en las arenas de Arauca y cantidades trazas en Casanare (**IGAC**, 1986, 1993) y dominancia ($\approx 50\%$) de caolinita, rangos cercanos al 15% en muscovita para las arcillas de Arauca y sólo contenidos trazas de montmorillonita y vermiculita en algunos suelos de Casanare (**IGAC**, 1993).

La CIC de los horizontes subsuperficiales es muy baja en los Entisoles e Inceptisoles de Arauca (CICA: 7.2 me/100 g y CICE: 2.7 me/100 g) si se compara con la de los Ultisoles y Alfisoles (CICA: 15.3 y CICE: 5.5 me/100 g); la CICE está dominada por Al de cambio. En el departamento de Casanare el 62% de los suelos presenta valores menores de 10 me/100 g para CICA y el 68% menos de 4 me/100 g para CICE (**IGAC**, 1993).

En **síntesis**, los suelos de la **altillanura** orinocense representan los de **mayor grado evolutivo** en el país y están dominados por la tipología de los diferentes Oxisoles (*Haplustox*, 19.6% y *Hapludox*, 14.5%) y, en mucha menor proporción, de los Ultisoles (*Kandiudults*, 1.7%, *Hapludults*, 0.9%, *Endoaquults*, 0.8% y *Paleudults*, 0.6%). La

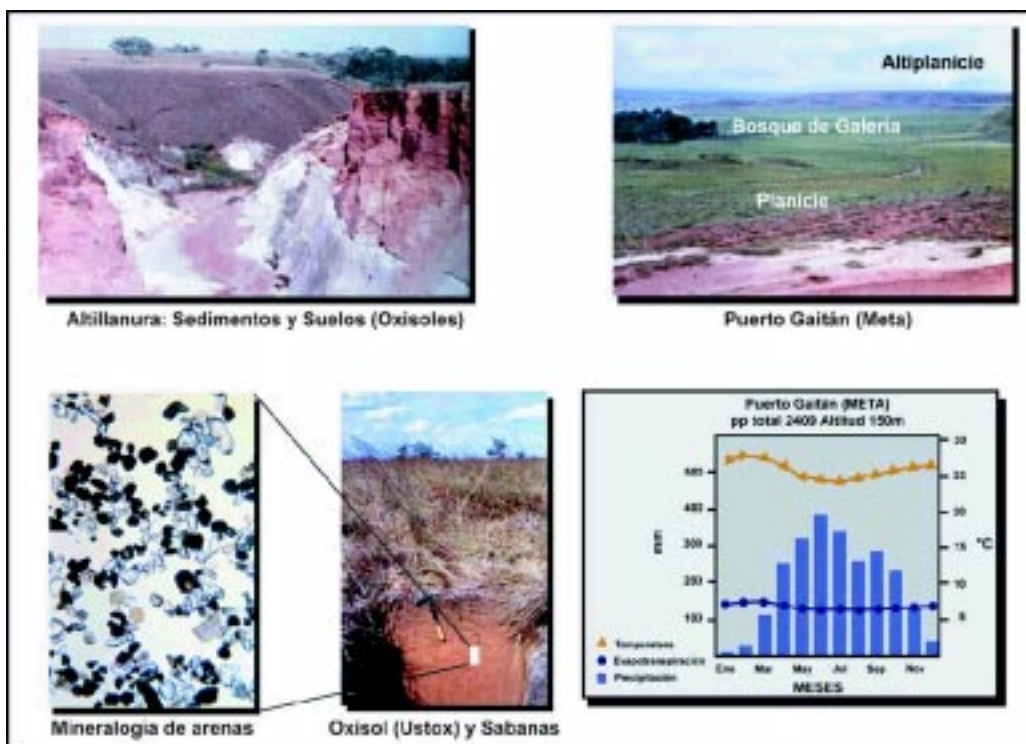


Figura 7. Oxisoles en la altillanura de los Llanos Orientales en la zona de Puerto Gaitán: geformas, clima, vegetación (sabanas) y mineralogía de la fracción arenosa pesada (circón, turmalina, opacos).

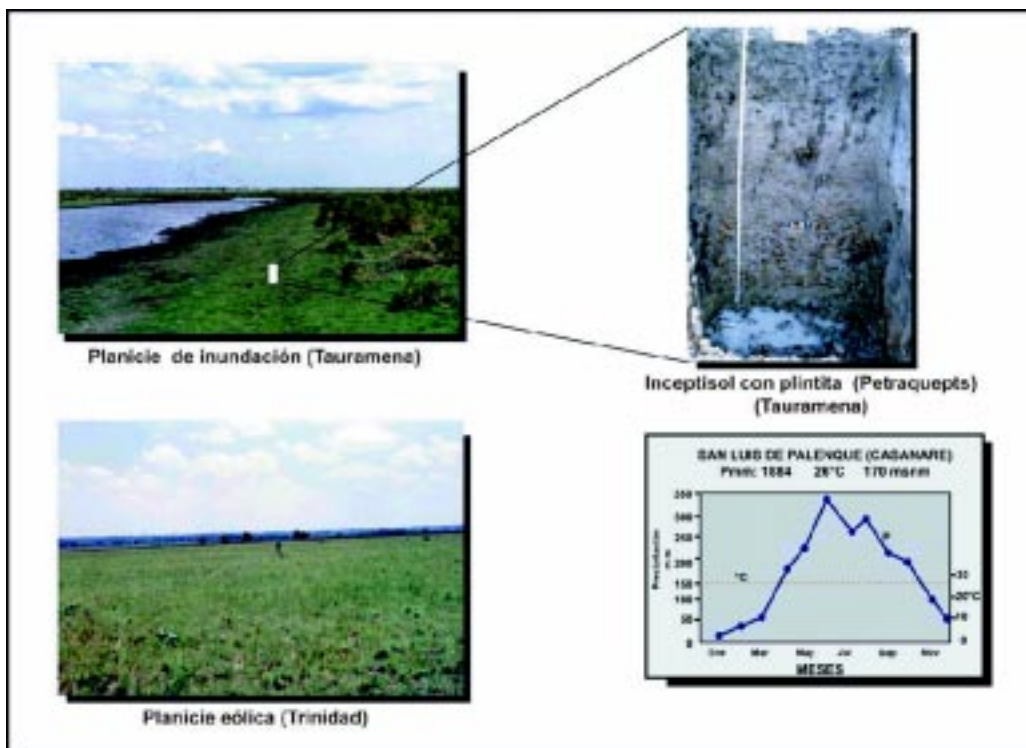


Figura 8. Geformas y suelos de la Región de la Orinoquia inundable (departamento de Casanare), resaltan aspectos hidromórficos.

Orinoquia inundable manifiesta grados avanzados de alteración (cuarzo, caolinita, intergradados, micas) relacionados con sus productos de depósito más que con la génesis de los suelos, pero tipos de suelos de mucha menor evolución (Entisoles e Inceptisoles), con Ultisoles y algunos, muy pocos, Alfisoles en Arauca, como resultantes de procesos evolutivos específicos. El prototipo de máxima evolución lo constituyen los *Endoaquults* (15.8%), con *Haplaquox* (3.4%) y muy escasos *Endoaqualfs*.

Las condiciones hidromórficas y los recubrimientos eólicos explican esta tipología opuesta a la de la altillanura, donde los sedimentos antiguos, el tiempo de evolución y la estacionalidad climática son responsables de su tipología.

Región Amazónica

La Región Amazónica hace parte de la extensa **megacuena sedimentaria** desarrollada entre el Escudo de la Guayana y el flanco este de la Cordillera Oriental. Presenta una espesa cobertura de rocas y depósitos sedimentarios, de origen marino y lacustrino (Terciario marino) y continental (Terciario continental) en la parte central de la región, al sur en el basín del Amazonas y al Sudoccidente en el del Putumayo, sobre rocas del Paleozoico y Precámbrico (zonas orientales), compuestas por migmatitas y un complejo ígneo-metamórfico (**Ingetec**, s. f.).

Los **materiales** anotados configuran expresiones geomorfológicas que integran los paisajes de interés: lomerío fluviogravitacional, altiplanicie estructural-erosional, superficie de aplanamiento residual y, de menor interés para el objetivo de estudio, las planicies y los valles aluviales.

El **clima** dominante en la región es el Afi (**Köppen**, 1954), cálido húmedo-muy húmedo, sin estaciones secas marcadas y con precipitaciones promedio anuales, excluyendo el piedemonte, de 2876 mm (16 estaciones, **IGAC et al**, 1979) para la región, variando en los paisajes estudiados según su localización. Hacia la zona oriental (Mitú) y sur (Trapecio amazónico), los promedios son de 3254 y 3318 mm, respectivamente (**Pulido et al**, 1996, **Malagón** 2001). La precipitación decrece (2598 mm) a medida que se transita hacia la Orinoquia.

El promedio de la temperatura anual es de 25.7%, isotermal, pero con grandes variaciones diarias, la humedad relativa presenta valores entre 84 - 88% y los valores de evapotranspiración potencial más comunes varían entre 1400 y 1500 mm. Las características climáticas co-

mentadas, establecen regímenes údicos- perúdicos e isohiptérmicos en los suelos dominantes y condiciones ácuicas (**Soil Survey Staff**, 1999) en las zonas mal drenadas (de interés en Espodosoles hidromórficos, al oriente de la región). En síntesis, la región tipifica el clima dominante (cercano al 80%) del país: cálido y húmedo-muy húmedo.

Como consecuencia de lo previamente comentado, la **selva neotropical** (bosque húmedo-muy húmedo tropical) constituye su clímax vegetacional, especialmente en ecosistemas de "tierra firme", con inclusiones de otros ecosistemas (caatinga, várzea) en áreas bajas y con mayor hidromorfismo.

El aporte de **biomasa** es fundamental en la dinámica ecológica de la región debido a sus condiciones distróficas. En ecosistemas de tierra firme el aporte de biomasa en bosques ligeramente intervenidos, se encuentra entre 292 y 391 ton/ha/año (**Saldarriaga**, 1988, **Ballesteros**, 1993, 1996 y 1998). Estos valores disminuyen con la intervención (236 ton/ha/año, **Ballesteros**, 1993) y en la caatinga baja (128 ton/ha/año), e incrementan en la várzea (419 ton/ha, **Ballesteros**, 1998). Ellos se vinculan con la capa de hojarasca (horizontes O), la cual, de acuerdo con los criterios establecidos por **Duchaufour**, 1998, evoluciona para establecer diferentes tipos de humus.

En los paisajes y suelos de interés, el tipo de humus está relacionado con el perfil orgánico de la hojarasca, éste se caracteriza por presentar, en condiciones naturales, una capa (3 - 4 cm) de hojas y ramas, bajo la cual se encuentra una zona de raicillas entreveradas (6 cm) e inferior a ella la zona de humificación (2 - 3 cm) transicional al horizonte A.

Los compuestos húmicos se caracterizan por relaciones ácidos fúlvicos (AF) a ácidos húmicos (AH) en el rango 1.3 - 2.3, bajo bosque, y disminuyen (< 1 - 2.3) al incrementarse los compuestos alifáticos en presencia de vegetación escleromorfa (**Correa**, 2000). Los valores mayores (3.5 - 3.8) se presentan en el piedemonte del Putumayo (**Correa**, 2002).

La humina insoluble presenta valores altos cercanos al 70% (**Bendeck**, 1993), en el piedemonte y lomerío caqueteños.

La tipología de los suelos a que se hace referencia se circunscribe al lomerío amazónico, las altiplanicies estructurales erosionales y a las superficies de aplanamiento residuales.

En el **lomerío**, la distribución de los suelos tiende a un predominio de Ultisoles (*Kandiudults*, figura 9, más que *Paleudults* y *Hapludults*) y Oxisoles (con abundancia de *Hapludox*, *Haploperox*, Figura 9, y escasos

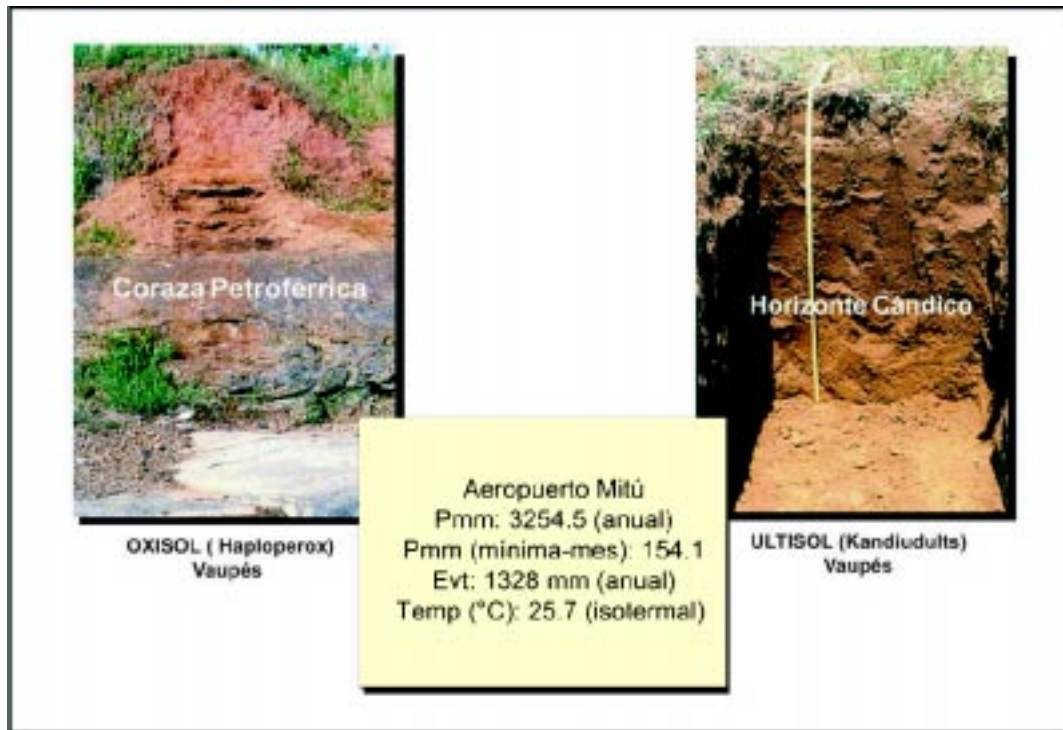


Figura 9. Ultisoles y Oxisoles de la región de la Amazonia en el departamento de Vaupés: corazas petroféricas y horizonte cándico.

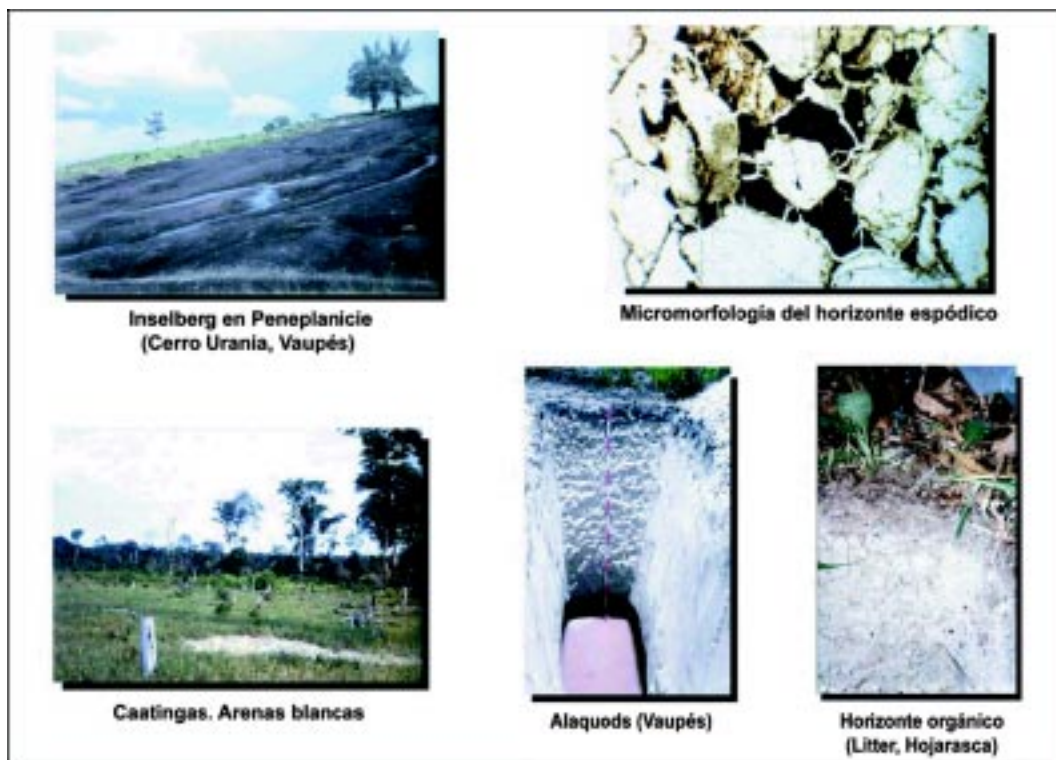


Figura 10. Espodosoles de la región de la Amazonia oriental: morfología y micromorfología de suelos, montes relictos (inselberg), arenas blancas y vegetación de caatinga.

Haplaquox), mientras que en las **altiplanicies** y **superficies de aplanamiento** los Oxisoles (*Hapludox* y *Haploperox*) predominan sobre los Ultisoles (*Udults*). En ambos casos son comunes los *Dystrudepts* (17% de la región), que frecuentemente intergradan hacia ellos (IGAC, 2000a) y diferentes *Psamments* asociados a cerros residuales, los cuales en algunos casos de la superficie de aplanamiento muestran evidencias de podzolización (*Epiquods*, figura 10). Estos Espodosoles se complementan con los presentes (*Alaquods*) en zonas aluviales (planicies y valles) asociados a los *Quartzipsamments*. Todos los suelos se hallan en medios cálidos, húmedos o muy húmedos.

En las **zonas aluviales** (planicies y valles), no sujetas por sus características a este análisis, dominan los Entisoles (*Fluvaquents*, *Udfluvents*, *Psamments*) e Inceptisoles (*Dystrudepts*, *Endoaquepts*) (Cortés, 1982). Se exceptúan las terrazas más antiguas donde son frecuentes los *Hapludox*, *Hapludults*, *Kandiudults* y *Haploperox*.

De los comentarios previos se deduce que los prototipos de suelos evolucionados (51% de la región), se caracterizan por procesos de **Ferralización** y **Ferruginación** en medios húmedos o muy húmedos, extremadamente ácidos, desaturados, con abundante Al de cambio y, en algunas zonas orientales, por la **Podzolización** (*Epi* y *Alaquods*, 2%), en condiciones hidromórficas a partir de materiales arenosos provenientes del Escudo Guayanés. El tipo de evolución anotado (de ciclo largo) se complementa con el grado avanzado de la misma (cuarzo en la fracción arenosa y caolinita, intergradados Al-vermiculita, oxihidróxidos de Fe y gibsita; la muscovita se concentra en las zonas de mayor influencia aluvial).

Los horizontes argílicos de los Ultisoles presentan valores (me/100 g) de CICA entre 16 y 18; CICE cercanos a 10 (Pulido & Malagón, 1993 y Pulido et al, 1996), mientras que los horizontes óxicos los manifiestan mucho menores: 6.4 y 2.6, respectivamente. Los procesos mencionados tienen estrecha relación con la evolución de las geoformas y con su edad (lomerío menos antiguo que las superficies de aplanamiento), a partir de las rocas sedimentarias del basín amazónico del Terciario, al Sur y al centro de los depósitos fluviales y lacustrinos del Plio-pleistoceno y del Terciario marino y continental. Las principales geoformas (lomerío, altiplanicie y superficie de aplanamiento) se relacionan con procesos erosivos geológicos (asociados a fuerte alteración y pérdida de materiales), bajo climas cálidos y húmedos-muy húmedos que han cambiado en el Pleistoceno, pero cuya acción ha sido más notable, en cuanto a explicar los suelos en su componente superior (Pleniglacial superior tardío, Van der Hammen, 1992). La

eliminación paulatina de arcillas de la superficie del suelo se ha propuesto (Pulido & Malagón, p. 369, 1996) como fenómeno erosivo generalizado, vinculado a la dinámica del agua, para explicar gran parte de las características granulométricas de los horizontes A de los Ultisoles. Ello, en adición al componente fino de los materiales de origen, conforma gran parte de su morfología.

Como consecuencia de lo expresado, adquiere gran importancia la **capa de hojarasca** como fuente de reciclaje de elementos con la vegetación y como aportante de sustancias húmicas, las cuales en los Espodosoles se asocian con su proceso formativo. Esta capa (horizonte O), tiene una tasa de renovación muy alta (cerca a 3 años), especialmente para las fracciones superiores a 50 mm, razón por la cual si se busca incrementar la retención permanente (mayor a 1000 años) de CO₂, debe fomentarse la síntesis de sustancias húmicas mediante la intervención de la fauna edáfica, en especial de lombrices de tierra (Camini Seneviratne, 2001). Ello debe evaluarse en el país, dado que investigadores como Laurance et al (2002), estiman en 600 kg/ha/año la acumulación anual de carbón en los bosques amazónicos y, en consecuencia, deducen altas cantidades de retención del elemento.

En síntesis, en la tipología estudiada sobresalen los suelos de **alta evolución**, representados por los Oxisoles (*Hapludox*, *Haploperox* y *Haplaquox*) en el 31% de la región (IGAC, 2003) y por los Ultisoles (*Kandiudults*, *Paleudults* y *Hapludults*) en el 20%. Después de la altillanura, en la Orinoquia colombiana, esta región representa los suelos más evolucionados del país; se diferencia de la primera por el mayor componente de Ultisoles (relación Oxisoles a Ultisoles: 1.6) y por una proporción de 1.5 entre los suelos de mayor evolución (Oxisoles - Ultisoles) a los de menor (Entisoles - Inceptisoles).

Región del Pacífico

Esta región conocida como Andén del Pacífico, comprende una franja alargada y estrecha, entre el flanco occidental de la Cordillera Occidental hasta la línea de costa, desde la frontera con Ecuador, en el sur, hasta la frontera con Panamá, en el norte.

La región, desde el punto de vista geológico, está conformada por rocas ígneas plutónicas y volcánicas del Cretácico que afloran a manera de núcleos, en las serranías de Baudó y Darién, sobre las cuales se encuentran rocas del Terciario, especialmente sedimentarias clásticas del geosinclinal de Bolívar, sobre las cuales se acumularon potentes y extensos depósitos cuaternarios de origen marino, fluvio-marino y fluvial que modelan las

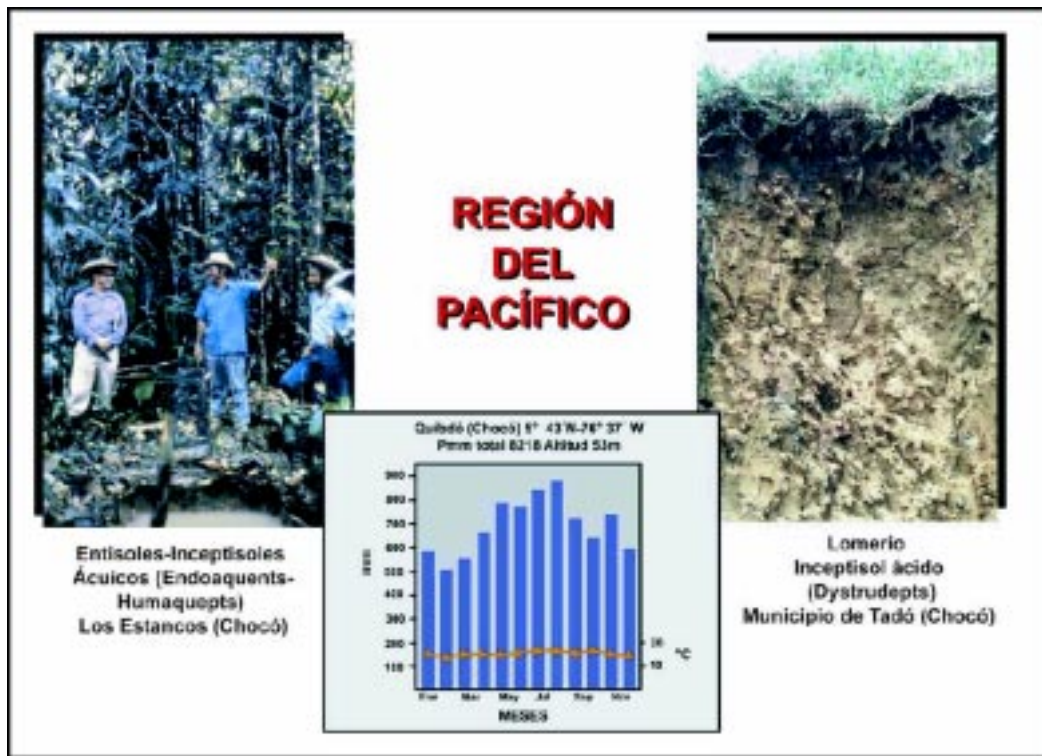


Figura 11. Región del Pacífico: aspectos climáticos, vegetación de bosque pluvial y suelos de bajo grado evolutivo (Dystrudepts), en el departamento de Chocó.

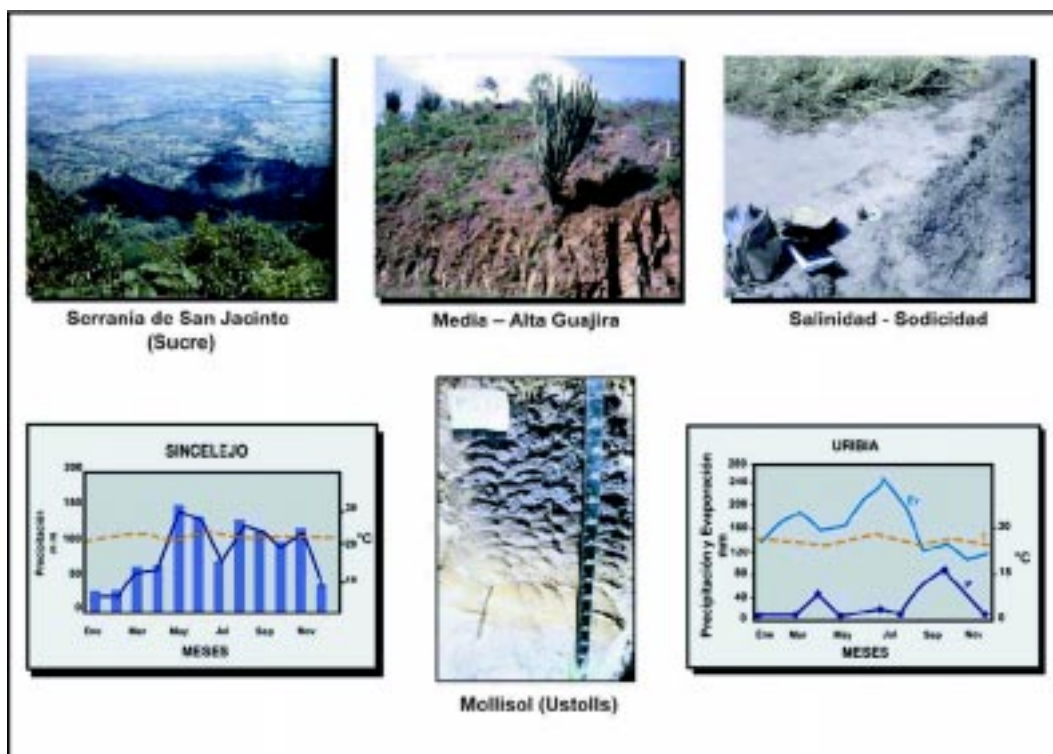


Figura 12. Mollisoles y Aridisoles de la Región Caribe: aspectos climáticos, morfológicos y de salinidad.

planicies actuales. Lo anterior pone de manifiesto un aspecto importante, desde el punto de vista de los suelos: aporte relativo mayor de rocas de composición máfica dominante (basaltos, diabasas, cuerpos ultramáficos, **Geotec**, s. f.) en comparación con otras regiones del país, a la vez que la presencia de calizas, especialmente del Terciario.

Geomorfológicamente se presentan paisajes de montaña, piedemonte, lomerío, valles y planicies aluviales; estas últimas asociadas con sedimentos fluvio-marinos y fluviales que actualmente dominan la mayor parte del Andén Pacífico, asociados especialmente a las cuencas de los ríos Atrato, Baudó, Patía y Mira (**Mendivelso**, 2003).

Los paisajes de interés para el presente estudio se circunscriben al piedemonte, lomerío denudacional (paisaje más extenso que el lomerío estructural, en el Chocó) y algunas terrazas de los valles, en alturas que no sobrepasan los 500 m.s.n.m.

En todos ellos el clima dominante se caracteriza por temperaturas altas e isotermales (promedio de 26.4°C en 11 estaciones seleccionadas, **IGAC** 2002), las precipitaciones abundantes de tipo bimodal, que se incrementan de Norte a Sur con concentraciones muy altas en el centro del departamento de Chocó (6.000 a 8.500 mm, rango en estaciones con registros entre 10 y 25 años, figura 11). Las condiciones muy húmedas y pluviales (4.000 - 7.000 mm) se mantienen hasta los límites con la República del Ecuador, en una franja intermedia entre el litoral Pacífico y la Cordillera Occidental. En algunas zonas del litoral (Tumaco) y en el Urabá chocono (Estaciones de Unguía, Acandí, el Mira), las precipitaciones disminuyen (2000 - 3000 mm), presentándose déficit de humedad en los primeros meses del año.

Las condiciones previas, aunadas a las altas humedades relativas (88.3%, promedio de 13 estaciones, **IGAC**, 2002), evapotranspiraciones cercanas a 1.500 mm, definen como climas dominantes los superhúmedos de selva (Afi, **Köppen**, 1954), con lluvias durante todo el año y zonas de vida (**IGAC**, 1977) de bosque pluvial (premontano y tropical), bosque muy húmedo (tropical y premontano) y bosque húmedo tropical. Concordante con lo expresado, los regímenes climáticos dominantes del suelo son el isohipertérmico y los perúdicos y údicos, con abundantes áreas en condiciones ácuicas marcadas (subórdenes ácuicos), ellos han restringido la alteración y la generación de suelos altamente evolucionados (**Wirthmann**, 2000).

La vegetación del Andén Pacífico es una de las más diversas y complejas del país en cuanto a estructura y nú-

mero de especies, explicada por el medio donde se encuentra: muy altas precipitaciones y temperaturas, tipo y composición de rocas, sedimentos y suelos. La biomasa que aporta varía de acuerdo con estos factores y con el grado de intervención. En ecosistemas de bosque pluvial tropical de colinas bajas y poca intervención, **Rodríguez** (1988) presenta valores de 331 ton/ha/año. Al cambiar a ecosistemas de bosque inundable de caaitival (*Prioria copaifera*) aumenta a 1.200 ton/ha/año (**Mendoza et al**, 2000).

El humus del suelo en los paisajes de interés, está vinculado con el aporte de biomasa anotado, texturas finas, regímenes perúdicos, údicos e isohipertérmicos, saturaciones de Al mayores del 60% en el 80% de los suelos y baja a muy baja saturación de bases de intercambio (**IGAC**, 2002), asociados con alta acidez (pH en el rango 4.5 - 5.5).

La **tipología de los suelos** en los paisajes bajo estudio, dado que en los demás (planicie y montaña) predominan suelos no sujetos a análisis, excepto Andisoles (1% de *Hapludands* y estos más que *Melanudands*) en montaña y algunos suelos evolucionados en las terrazas más antiguas, está caracterizada por Ultisoles (*Hapludults*, 7%) y Oxisoles (*Hapludox* y *Perox*, 8%), en porcentajes que no alcanzan la tercera parte de los presentes en la región amazónica. Su distribución se concentra en la parte central de la región, disminuyendo en sus extremos, especialmente hacia el Sur (Nariño), **IGAC**, 1999.

Los grandes grupos *Hapludults* y *Hapludox*, por otra parte, indican grados evolutivos menores que, por ejemplo, los de los *Paleudults* y *Kandiudults* amazónicos.

En la Región del Pacífico los Inceptisoles y Entisoles constituyen los suelos más frecuentes (73%) (**Cortés**, 1982). Los primeros (49%) están representados por los *Dystrudepts* (34%), *Eutrudepts* (10%) y por los *Epi* y *Endoaquepts*. Entre los Entisoles (24%) se destacan los *Udorhents*, *Udifluvents* y *Fluviaquents*, los cuales y en conjunto se acercan al 20%; en menor proporción están los *Hidraquents* (3%). Resalta el hecho de presentarse suelos relativamente saturados (*Eutrudepts*) en el 10% de la región, a pesar de las extremas condiciones de precipitación, vinculados a la litología máfica de los materiales que los forman.

Los suelos orgánicos (Histosoles), *Sulfi* y *Haplohemists*, constituyen el 3%, mientras que los Andisoles se concentran en montaña y los muy escasos Vertisoles (*Hapluderts*, 1%), sólo en la zona menos húmeda del norte de la región.

La síntesis tipológica descrita, indica que los procesos de **Ferralización** (Oxisoles) y **Ferruginización** (Ulti-

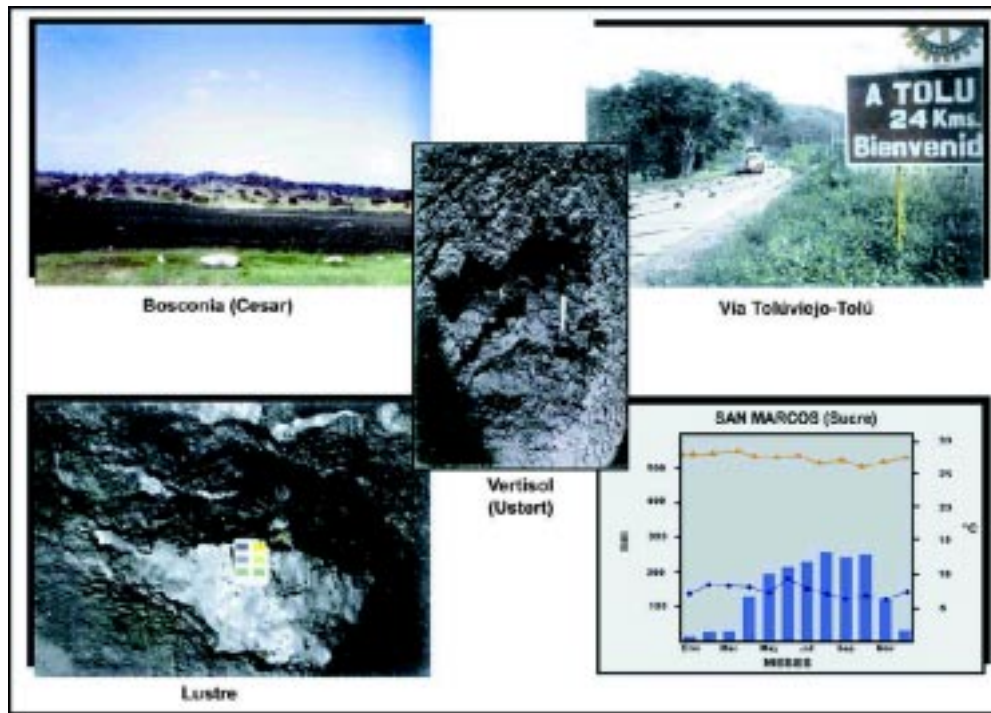


Figura 13. Características diferenciales de los Vertisoles de la Región Caribe: color, lustre, rotación de estructuras y efectos de los procesos de expansión - contracción en las vías.

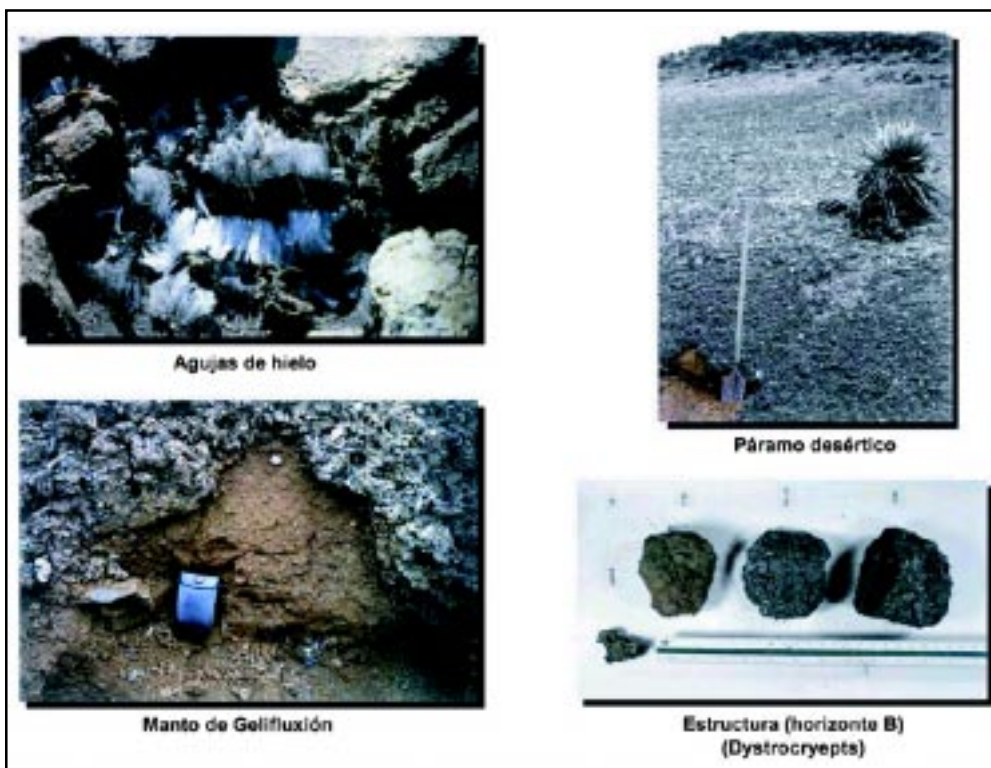


Figura 14. Dinámica periglaciár (gelifluxión, agujas de hielo), paisaje y suelos resultantes (*Dystrocryepts*).

soles) *tropicales*, son menos frecuentes que en la Amazonia y, como ya se ha comentado, que en la altillanura de la región de la Orinoquia. Si se toma como ejemplo el Departamento más extenso (Chocó), la relación Ultisoles a Oxisoles es aproximadamente de 3.7 a 1 y la de estos a los de los suelos de menor evolución (Entisoles e Inceptisoles), de 0.2 (IGAC, 1998).

El grado alcanzado de evolución, fundamentado en la mineralogía de los suelos y en las características de la capacidad de intercambio, define dos zonas; la primera corresponde al Departamento de Chocó y la segunda al Valle del Cauca y Nariño.

En la primera predominan cuarzo, minerales alterados que no alcanzan el grado de opacos y feldespatos, en la fracción arenosa y, en la arcillosa, caolinita, cuarzo con micas e integrados en cercanías a la costa o en Urabá.

La segunda zona se caracteriza por un mayor contenido en minerales alterables en la fracción arenosa; en general están presentes: feldespatos, cuarzo, anfíboles, vidrio volcánico, piroxenos y minerales alterados. La fracción arcillosa en los suelos de interés, es similar a la previamente comentada, pero difiere por el predominio de alofanos en las áreas montañosas.

Las capacidades de intercambio en ambas zonas son explicadas por el clima, los materiales que originan los suelos, la composición de las arcillas, los contenidos en materiales orgánicos y por las clases de suelos. Al tomar como ejemplo el paisaje de lomerío en el departamento de Chocó se constata lo expresado: en el clima muy húmedo y pluvial, donde sólo el 3% de los suelos son moderadamente ácidos y el resto varía entre extremada y fuertemente ácidos, la CICA en el 70% del área se presenta en rangos medios y altos, explicada por características de carga variable; en cambio la CICE presenta valores muy bajos (< 4 me/100 g.s.). En el mismo paisaje pero en clima húmedo, la CICA se encuentra en rangos medios (26%) y altos (7%), IGAC, 1998.

Región del Caribe colombiano

La región Caribe de Colombia está comprendida entre el Golfo de Urabá, en el Sudoccidente hasta la Península de la Guajira en el Nororiente. Geológicamente incluye el bloque tectónico de la Sierra Nevada de Santa Marta (predominio de rocas plutónicas intermedias del Triásico, Jurásico y sedimentarias), la Depresión Momposina y la parte baja de las cuencas y valles aluviales de los ríos Magdalena, Sinú y San Jorge, donde se encuentran espesos y extensos depósitos cuaternarios, que cubren gran parte de las rocas sedimentarias

del Terciario (lodolitas, areniscas, calizas). Hacia la Guajira se encuentran núcleos de rocas ígneas y metamórficas del Cretácico y Terciario (esquistos, cuarcita, mármol, metadiabasas, anfibolitas y el complejo polimetamórfico y sedimentario del Cretácico, Geotec, s. f.) y delgadas secuencias de materiales clásticos de origen coluvial, eólico, fluvial, lacustre y marino, de edades holocénicas y pleistocénicas.

En la geomorfología de la región sobresalen los paisajes de lomerío (46.391 km²), planicie (29.150 km²), piedemonte (17.004 km²), montaña (11.455 km²) y superficie de aplanamiento (4.669 km²), (IGAC, 1997). Los paisajes de lomerío y planicie conforman el 60.6% de la región.

El clima se caracteriza por un incremento de la precipitación del noreste al sudoeste, con valores inferiores a 500 mm en la alta Guajira y cercanos a 3000 mm al sur de Córdoba; en la Sierra Nevada la orografía determina un comportamiento diferente (IGAC, 1997). Para las zonas de interés, las isoyetas predominantes se presentan en el rango 500 - 1.500 mm, con distribución bimodal al oriente y monomodal al occidente; el régimen más extenso de humedad del suelo es el ústico y, en algunos casos, arídico o transicionales entre el ústico y el údico. En estas mismas zonas (semisecas, semihúmedas, semiáridas), las temperaturas promedio se aproximan a los 27.6°C, generando un régimen isohipertérmico en el 91.4% de los suelos. La evapotranspiración potencial varía inversamente con la precipitación (1.300 mm en Urabá a 2.100 mm en la Guajira), (IDEAM, 1996, citado por IGAC, 1997).

Como consecuencia de las condiciones anotadas, las zonas de vida donde se ubica la tipología de los suelos estudiados, corresponde al bosque seco o muy seco tropical y, en algunas zonas, al monte espinoso o matorral desértico subtropical.

Los aspectos ambientales asociados a las zonas de vida, generan limitados aportes de biomasa que repercuten en el contenido de materia orgánica de los suelos; en éste predominan los valores bajos (45% de los suelos con C.O.% entre 0.5 y 1.2), medianos (30% de los suelos entre 1.3 - 2.5 de C.O.%), muy bajos (< 0.5 de C.O.% en el 20% de los suelos). Los suelos con porcentajes altos de carbón orgánico (> 2.5) sólo incluyen el 5% de la región.

A pesar del bajo contenido de materia orgánica (65% de los suelos), el humus evoluciona en condiciones de alternancia estacional de precipitación y temperaturas altas (los regímenes ústico y arídico abarcan el 65%), pH superiores a 5.6 (73% de los suelos), adecuadas bases de

intercambio, condiciones bajas de saturación de Al (86.8% de los suelos con saturaciones inferiores al 30%) y predominancia de arcillas 2:1 (esmeclitas, vermiculita y micas) en el 70 - 75% de los suelos, en especial en la parte central de la región y en la Guajira. Lo anterior repercute en formas evolucionadas (polimerizadas) de humus que influyen notablemente en la dinámica, morfología y propiedades de los suelos de interés (vgr. Mollisoles y Vertisoles, Figuras 12 y 13).

Los suelos analizados en la presente tipología incluyen los Alfisoles (*Natrustalfs* y *Haplustalfs*, 3%), Vertisoles (*Haplusterts*, 4%, *Hapluderts*, 1%), Mollisoles (*Haplustolls*, 4%, *Hapludolls*, 1%), Aridisoles (*Haplocalcids* y *Haplocambids*, 4%). Los Oxisoles (*Hapludox*) sólo están presentes en aproximadamente el 1% de la Región (zonas de sabanas de Ayapel y San Benito Abad, **IGAC**, 1983), igual porcentaje lo alcanzan los Ultisoles (*Hapludults*). Los suelos de menor evolución (Entisoles e Inceptisoles) representan el 62% de ella.

En los suelos de interés resaltan los procesos de **lexiviación** (translocación arcillosa con o sin concentración de sodio) característico de los Alfisoles, la **haploidización** en los Vertisoles ústicos con arcillas expandibles, lustre y estructuras inclinadas (figura 13), la **melanización** y altos contenidos en bases, propia de los Mollisoles y el desarrollo de horizontes cálcicos o cámbicos bajo régimen árido asociada a los Aridisoles.

Importantes también en la región son los procesos de **salinización**, **sodización** y **calcificación** que abarcan cerca del 28% de la región (**IGAC**, 1997, **Cortés**, 1982), figura 12, que se concentran en la alta y media Guajira, parte baja de los ríos Cesar, Magdalena y Sinú, al igual que en la planicie marina de los departamentos de Magdalena, Bolívar y Sucre.

A pesar de las claras diferencias geológicas (litología y aporte de piroclastos), geomorfológicas, climáticas (regímenes de humedad údicos, 47%, ústicos, 26%) y de la naturaleza y origen de los materiales parentales de algunos suelos (Aridisoles), la región de los valles, depresiones y planicies interandinas, en especial la parte del río Magdalena comprendida entre Gigante y el norte de Mariquita y la zona entre El Tambo y Viterbo en el río Cauca, presentan cierta similitud con los suelos de la región Caribe. En ella también están presentes los Mollisoles (~ 3%), Alfisoles (~ 1%) y Vertisoles (menos del 1%). Los Entisoles e Inceptisoles representan, además, un alto porcentaje (~ 74%).

En síntesis, en la tipología de los suelos de la región del Caribe colombiano sobresalen (17%) aquellos

(Vertisoles, Mollisoles, Aridisoles y Alfisoles) predominantemente relacionados con etapas evolutivas moderadas, especialmente asociadas a los materiales de origen y a las condiciones climáticas prevalentes. Los Oxisoles y Ultisoles, como indicadores de comparación, sólo representan el 2% de la región.

Región Andina

La región surge como consecuencia de la colisión de la Placa de Nazca por debajo de la Placa de Sudamérica, lo cual dio origen a la Trifurcación Orogénica Andina, representada por las tres cordilleras colombianas: la Central, la más antigua, conformada por núcleos de rocas polimetamórficas, instruidas por rocas ígneas, representadas por plutones, batolitos y grandes volúmenes de rocas volcánicas de diferentes edades y provenientes de los diferentes volcanes-nevados. La Cordillera Occidental se desprende desde el Nudo de los Pastos en dirección Sur-Norte, pasa por la Hoz de Minamá en la cuenca del Patía y se prolonga hacia el norte hasta perderse en las planicies de la región Caribe. Esta cordillera está conformada por rocas ígneas plutónicas y volcánicas, parcialmente cubiertas por rocas sedimentarias clásticas de grano fino, grueso y calcáreas que, a su vez, están cubiertas por espesos y extensos depósitos cuaternarios de origen volcánico, fluvio-volcánicos, fluvial y coluvial. La Cordillera Oriental se inicia en el Macizo Colombiano y se prolonga hacia el norte hasta la Serranía de Perijá, está comprendida entre el Valle del Magdalena por el Occidente y los Llanos Orientales por el Oriente. Su litología está conformada en los Macizos de Garzón, Quetame y Bucaramanga por núcleos de rocas ígneas y metamórficas, cubiertas por potentes secuencias sedimentarias plegadas y falladas del Paleozoico, Cretácico y Terciario, que a su vez están cubiertas por depósitos cuaternarios de origen glaciario, fluvio-glaciario, fluvio-coluvial y fluvial que rellenan valles intramontanos de origen lacustre. Geomorfológicamente la región está constituida por paisajes de montaña, lomerío, piedemonte, altiplanicie y valle, que han evolucionado por la acción de distintos procesos en diferentes épocas y en variables condiciones climáticas extremas, desde secas a extremadamente húmedas y frías como en los páramos y zonas nivales (**Mendivelso**, 2003, **Cortés**, 1982).

Las condiciones climáticas de la región andina son muy variadas y difíciles de ser sintetizadas, caso opuesto a las demás regiones comentadas. Los efectos orográficos, las vertientes, el relieve, etc., condicionan grandes cambios en espacios reducidos.

Desde el punto de vista de sus relaciones pedológicas, varios aspectos son importantes. El primero de ellos radica

en el efecto significativo de los cambios climáticos del Cuaternario (**Van der Hammen**, 1981, 1992) ya que muchos suelos presentan poligénesis, se han enterrado o fosilizado. El segundo hace referencia a las grandes tendencias que se presentan: zonas de muy alta precipitación en las vertientes oriental y occidental de las cordilleras respectivas, enclaves secos y semiáridos al interior de los valles interandinos, muy amplia gama de precipitaciones, temperaturas y de evapotranspiración potencial asociadas con el relieve y con su influencia en la vegetación.

En síntesis, la región incluye prácticamente todas las condiciones del territorio colombiano; no obstante, con la finalidad de enmarcar las referentes a los suelos de interés, pueden generalizarse tres grandes zonas:

- Las vertientes extremas de las Cordilleras Oriental y Occidental, con precipitaciones de 3.000 a 5.000 mm.
- El "cuerpo" de las cordilleras y valles interandinos: 1.000 - 2.000 mm y regímenes de humedad con prevalencia údica; no obstante, se presentan algunos enclaves secos y regímenes ústicos.
- Las zonas húmedas de los páramos, las periglaciares con procesos de geliflucción, agujas de hielo, escasa vegetación y suelos incipientes (figura 14).

Las zonas de vida en la región se vinculan con los comentarios previos; en consecuencia son muy variadas y con aportes de biomasa obviamente diferentes. Algunos ejemplos lo evidencian: 129 ton/ha/año en bosques intervenidos, alto andinos (Cota, Cundinamarca), según **Rodríguez & Ballesteros** (1998) y, en ecosistemas de bosque húmedo tropical del Magdalena Medio (Carare - Opón) 185 ton/ha en terrazas interandinas y 326 ton/ha en colinas de la región andina, (**Foelster et al.**, 1976).

Las características asociadas con la dinámica de la materia orgánica y productos húmicos resultantes, están influidas fundamentalmente por las condiciones climáticas, los diferentes tipos de materiales que originan los suelos (**Andreux**, 1983, **Andreux et al**, 1978, **Ballesteros et al**, 2001, 2003) y por el tiempo de evolución (ciclos cortos). Destacan fundamentalmente las relacionadas con los Andisoles (suelos derivados de cenizas volcánicas con horizontes A espesos y oscuros y con horizontes B con abundantes alófanos) y su proceso específico de formación (Andolización: complejo de adsorción dominado por Al-humus o por alófanos-humus), en ellos sobresalen, tomando como prototipo los presentes en la zona cafetera central del país, (**Ballesteros et al** 2001, 2003) altos porcentajes de humificación (> 50%), alto contenido de humina de insolubilización, predominio de ácidos

húmicos tipo A, es decir, formas evolucionadas de ellos (**Kumada**, 1987), policondensadas y con tamaños moleculares altos; no obstante, se infieren diferencias pequeñas entre los ácidos fúlvicos y los húmicos. Además, en los horizontes A el Al es el principal catión de enlace, responsable de la insolubilización de los complejos órgano minerales o complejos sales (menos estables que los complejos verdaderos, dominantes en los horizontes Bw).

Los Andisoles colombianos en su mayoría, corresponden a suelos bajo regímenes údicos, crícos, isomésicos o isotérmicos, de ciclo corto (Holoceno). En ellos son comunes los horizontes enterrados como consecuencia de la actividad volcánica (Cordillera Central); no obstante, frecuentemente se hacen evidentes procesos evolutivos vinculados con la fosilización de horizontes y secuencias policíclicas. En la figura 15 se sintetizan los comentarios previos; en ella también se presentan aspectos relacionados con la microestructura de los horizontes A no intervenidos por el hombre y algunos termogramas de alófanos representativas.

Los Andisoles a que se ha hecho referencia constituyen los suelos más representativos desde el punto de vista de la tipología, ya que integran el 16% (*Hapludands*, 11% y *Melanudands*, 5%). Los demás, Mollisoles y Alfisoles, sólo abarcan el 3% de la región. Los suelos de menor evolución (*Inceptisoles* y *Entisoles*) conforman el 67%, destacándose los *Dystrudepts* (55%), (**IGAC**, 2003). En estos suelos los procesos de pérdida por erosión y lixiviación, se compensan parcialmente por los de ganancia de materiales orgánicos por efecto del clima (la mayoría presenta contenidos medianos y altos de C. O.: 1.5 a 6% o mayores), ello conlleva la aparición de horizontes A (Úmbricos) sobre, generalmente, horizontes B (Cámbicos). En medios desaturados, predominan suelos extremada y fuertemente ácidos y bajos en P.

Como referencia comparativa con las demás regiones naturales, los Oxisoles y Ultisoles sólo integran el 0.34% del territorio regional.

Síntesis y conclusiones

El ensayo sobre la tipología de los suelos colombianos, se fundamenta en la interacción de las diferentes expresiones del medio biofísico con los procesos prevalentes de formación de suelos, en las diferentes Regiones Naturales de Colombia. Se hace énfasis en la integralidad del medio natural y en la importancia de los suelos en la aproximación a su estudio.

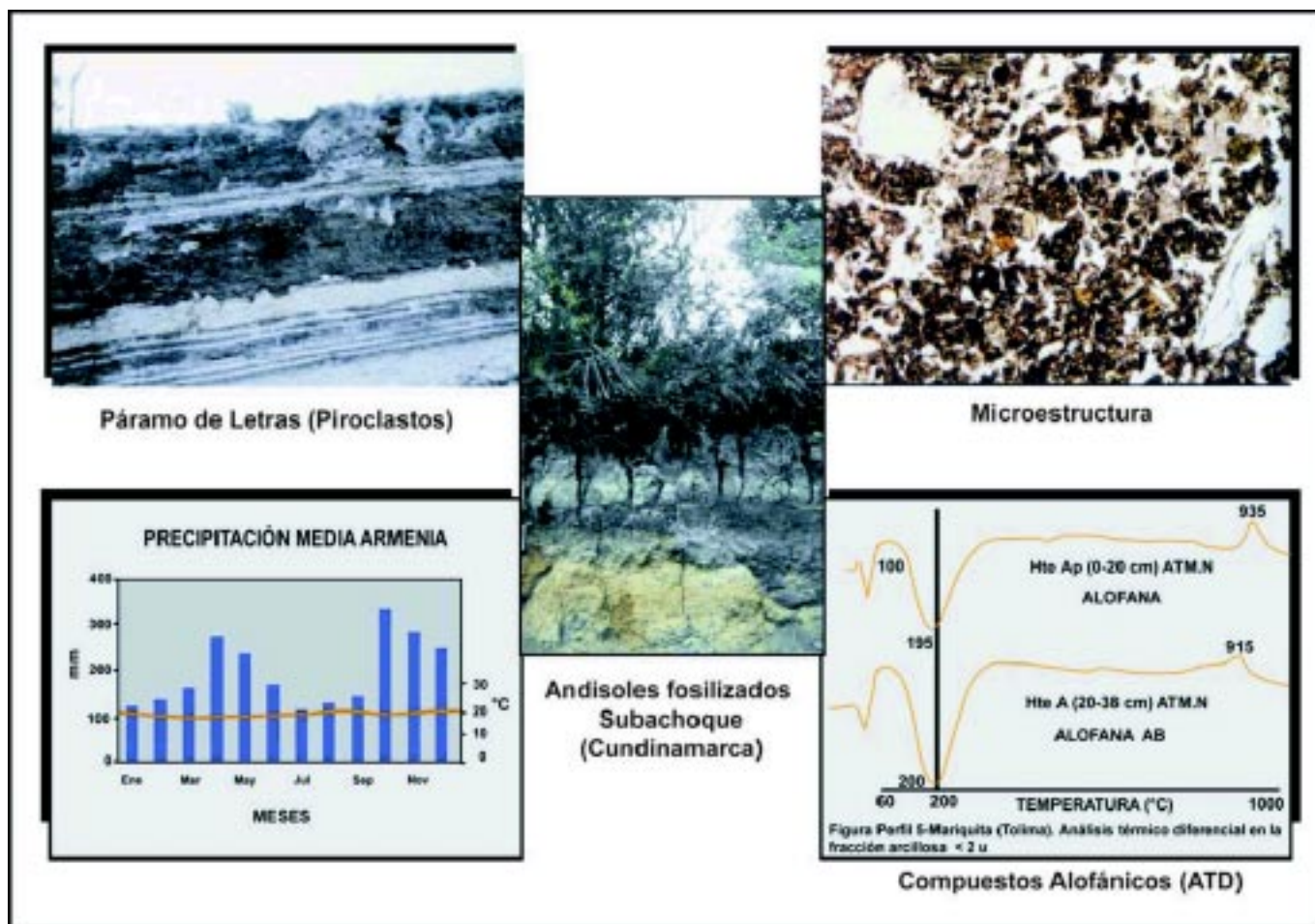


Figura 15. Andisoles de la Región Andina. En la zona central del país se destacan aspectos climáticos, morfológicos y mineralógicos.

Si bien los estudios de la cobertura pedológica define a los Inceptisoles - Entisoles como los suelos más extensos en el país ($\approx 52\%$), el ensayo se centró en la tipología de aquellos con mayor grado evolutivo: Oxisoles, Ultisoles, Alfisoles, Andisoles, Vertisoles, Mollisoles y Aridisoles. Ellos tipifican el *tipo* y *grado evolutivo* alcanzado en las diferentes regiones naturales de Colombia (figura 16). El *tipo* hace referencia a los procesos específicos responsables de definir la evolución de los suelos, expresados en su morfología y taxonomía; el *grado*, por otra parte, indica la etapa de transformación alcanzada por sus constituyentes, tanto minerales como orgánicos, en función de los procesos formativos o de la dinámica a que se hayan sometido previamente a su constitución como materiales parentales. Tres indicadores se tomaron para su caracterización: la mineralogía de las fracciones arena y arcilla, la capacidad de intercambio catiónica (a

pH 7 y la efectiva) y la composición húmica (ácidos fúlvicos, húmicos y huminas).

La evolución geológico - ambiental de cada región natural del país deja evidencias parciales en sus suelos. Ello permitió, mediante la tipología de los más evolucionados, establecer la siguiente secuencia referida a su localización en el paisaje (figura 16): suelos de la altillanura (Llanos Orientales) de las altiplanicies y superficies de aplanamiento amazónicas más evolucionados que en el lomerío; la evolución en todos ellos, es alta a muy alta. Continúan los suelos de las regiones costeras del Caribe y el Pacífico, disímiles en lo ambiental y pedológico pero con etapas evolutivas moderadas, ambas asociadas a paisajes de lomerío y, adicionalmente, de piedemonte (Pacífico) y planicie (Caribe). Los paisajes de montaña y altiplanicie en la Región Andina y de planicie en la Región de la Orinoquia inundable, conforman



Figura 16. Tipos y grados de evolución comparativa de suelos en las regiones naturales de Colombia.

el marco ambiental donde se presentan los suelos de evolución moderada - baja en Colombia.

La síntesis regional de la tipología de suelos se comenta a continuación. Se hace énfasis en los índices finales de evolución que la sustentan: porcentaje de suelos de mayor evolución (Oxisoles y Ultisoles) y relación de estos a aquellos de menor evolución (Entisoles e Inceptisoles). Obviamente, la tipología de cada región es característica, independiente de los índices anotados; ello permite, además, llegar a las conclusiones sintetizadas en la figura 16.

En las regiones de la *Orinoquia* (altillanura) y *Amazonia*, los tipos dominantes de suelos evolucionados son los Oxisoles, Ultisoles y Espodosoles con sus diferentes intergrados, en especial los Inceptisoles óxicos. Las diferencias marcadas en el clima y en el aporte de biomasa (sabanas o selvas) definen tipologías variadas en ambas regiones pero supeditadas a ciclos largos de evolución, en materiales sedimentarios del Plio-pleistoceno (altillanura) y del Ter-

ciario, marino y continental (Amazonia). Los procesos determinantes de estos suelos son los de *ferralización*, *ferruginación* y *podzolización*; su grado evolutivo es muy alto (altillanura, superficie de aplanamiento y altiplanicies, estas últimas en la Amazonia) y alto (lomerío amazónico).

En la altillanura predominan ampliamente los Oxisoles sobre los Ultisoles (x 10) y la relación de estos a los de baja evolución es de 1.1. En la Amazonia el 51% de los suelos corresponde a los de alta evolución (Oxisoles 31% y Ultisoles 20%, IGAC, 2003) y su relación con los de baja evolución (Entisoles e Inceptisoles) es de 1.5.

En el *Andén Pacífico* las condiciones extremas del clima sólo han llevado al 15% de los suelos hasta las clases de Ultisoles (7%) y Oxisoles (15%). Los suelos de menor evolución, representados por Entisoles e Inceptisoles, están presentes en el 73% de la región (IGAC, 2003). En consecuencia la relación entre los primeros y los segundos es de 0.2.

La evolución general de los suelos de la región se considera moderada y mucho menor que en la altillanura de los Llanos Orientales y en las altiplanicies y superficies de aplanamiento de la Región Amazónica.

En la *Región del Caribe* colombiano y con referencia a paisajes no montañosos, los sedimentos aluviales y las formaciones sedimentarias del Terciario, han generado Vertisoles (5%), Mollisoles (5%), Aridisoles (4%) y Alfisoles (3%), bajo la acción severa de la estacionalidad climática y sus relaciones biológicas. Resaltan procesos de *haploidización*, *melanización*, *calcificación*, *salinización* y *sodización*, correspondientes a grados medios de evolución.

Dado que los Oxisoles y Ultisoles sólo representan el 2% de la región y que los Entisoles e Inceptisoles abarcan el 62%, su relación es de 0.03. Ello permite concluir que los suelos de evolución moderada, ya anotados, caracterizan su tipología.

En la *Región Andina* la tipología gira alrededor de los Andisoles (16.4%) y de sus intergrados y extragrados; ellos representan las zonas de influencia de cenizas volcánicas bajo condiciones climáticas de tendencia húmeda y temperaturas medias a frías. La mayoría de los demás suelos (Mollisoles, 2% y Vertisoles, 0.1%), con excepción de algunos Alfisoles (0.8%), se asocian a ciclos cortos de evolución generalmente holocénicos y a procesos de ablación. Los procesos dominantes son la *andolización*, *melanización*, *pérdidas por erosión* y, en algunas zonas subhúmedas, *lexiviación*. Los suelos de la región manifiestan evolución moderada a baja, dado que los que se han tomado como indicadores de evolución alta (Oxisoles y

Ultisoles) sólo están presentes en el 0.34% de la región, los Entisoles e Inceptisoles se manifiestan en el 67% (Dystrudepts 55%), los Mollisoles y Alfisoles integran el 3% y solamente los Andisoles (*Hapludands*, 11%, *Melanudands*, 5% y, el conjunto de los *Melanocryands*, *Placudands*, *Fulvudands* y *Haplustands*, 0.5%), tipifican la mayor extensión de suelos con procesos específicos de evolución.

Los valles interandinos, en especial en su parte media, no obstante presentar características ambientales muy diferentes a la Región Andina (geoformas, clima, materiales parentales), tienen cierta similitud en su composición pedológica con los de la Región del Caribe; destacan la presencia de Alfisoles (1%), Mollisoles (3%), Vertisoles (0.1%) y algunos Andisoles (1%). Los Entisoles e Inceptisoles constituyen el 74% y los Oxisoles y Ultisoles son muy escasos (0.01%).

Bibliografía

- Andreux, F.** 1983. Evolución de la materia orgánica en Andosoles. En materia orgánica del suelo. Suelos Ecuatoriales. Vol. XIII. No. 1.
- & **De Becerra S. P.** 1975. Fraccionamiento y caracterización del material húmico en algunos suelos de la sabana de la Orinoquia colombiana. En investigaciones especiales en algunos suelos del Centro de Desarrollo Integrado "Las Gaviotas", Comisaría de Vichada. IGAC. Vol XI. No. 7. pp. 63 a 84.
- , **Luna, Z. C. & P. Faivre.** 1978. Un método de fraccionamiento del humus como criterio genético complementario en la caracterización de suelos ándicos en Colombia. Suelos Ecuatoriales. Bogotá. p. 1-8.
- Baize, D.** 1986. Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie. Science du Sol. No. 1986 - 3. Vol. 24. p. 227-243.
- Ballesteros, M.** 1996. Funcionamiento de los ecosistemas de caatinga baja amazónica y tierra firme. IGAC. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del municipio de Mitú, departamento de Vaupés. Cap. 4. Sección 3. Pág. 651-715.
- Ballesteros, J. & J. Bernal.** 2001. Caracterización semicuantitativa de las sustancias húmicas de un Acrudoxic *Melanudands*, medial, amórfico, isotérmico del municipio de Chinchiná, Caldas. Trabajo de Grado (Licenciatura en Química). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Ciencias y Educación.
- , **A., Correa & W., F. Castrillón.** 2003. Fraccionamiento de las sustancias húmicas de un Acrudoxic *Melanudands*, medial, amórfico, isotérmico del municipio de Chinchiná, Caldas. Suelos Ecuatoriales. (En prensa).
- Ballesteros, M.** 1993. Análisis de la biomasa y el inventario de nutrientes en ecosistemas naturales intervenidos y poco intervenidos. IGAC. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento de Caquetá. Cap. 3. Sección 3. 479-527 p.
- . 1998. Funcionamiento de los ecosistemas de tierra firme e inundables. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del Trapecio Amazónico. IGAC. Bogotá. (sin publicar).
- Bendeck, L. M. S.** 1993. Naturaleza y composición del humus. En aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente de Caquetá. Inst. Geogr. Agustín Codazzi. p. 565-630.
- Birkeland, W. P.** 1999. Soils and Geomorphology. Third Ed. Oxford Univ. Press. 430 p.
- Camini Seneviratne.** 2001. Manipulating terrestrial carbon sinks. Globan Change News Letter. Letter to the Editor. Issue No. 47.
- Correa, S. A.** 2002. Comunicación personal.
- . 2000. Evolución de la materia orgánica en suelos de lomerío, terraza y planicie aluvial bajo bosque. En Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del municipio de Mitú, departamento de Vaupés. IGAC, Subd. Agrol. Bogotá (sin publicar).
- . 1996. Evolución de la materia orgánica en ecosistemas naturales y agroecosistemas. En Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del municipio de Mitú. IGAC, Subd. Agrol. Bogotá. 755-796.
- Cortés, L. A.** 1982. Geografía de los Suelos de Colombia. Univ. Jorge Tadeo Lozano. Colombiana de Impresos Ltda. Bogotá. 161 p.
- De Becerra, S. P.** 1986. Comportamiento de la materia orgánica en suelos de la Orinoquia. Diagnóstico geográfico nororiente de Vichada. Inst. Geogr. Agustín Codazzi. Vol 5.2. p. 1-33.
- Duchaufour, Ph.** 1998. Handbook of Pedology: Soils - Vegetation - Environment. Transl. V. A. K. Sarma. A. A. Balkema, Rotterdam, Brookfield. 264 p.
- Espinal, L. S. & E. Montenegro.** 1977. Formaciones vegetales de Colombia. IGAC. Bogotá.
- Etter, A.** 1997a. Ecosistemas terrestres: Sabanas. En Chaves, M. A.; V. N. Arango Eds. p. 77.
- . 1997b. Bosque húmedo tropical. En Chaves, M. A.; V. N. Arango Eds. p. 110.
- Foelster, H., De las Salas, G. & P. Khanna.** 1976. A Tropical evergreen forest site with perched water table, Magdalena Valley, Colombia. Biomass and bioelement inventory of primary and secondary vegetation. Oecologia Plantarum **11** (4): 297- 320.
- Geotec, Ltda. (s. f.).** Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:1.200.000. Cediell, F. & C. Cáceres.
- Goldich, S. S.** 1938. A study in rock weathering. Journal Geology **46**. p. 17-58.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.** 1997. Informe Nacional sobre el estado de la biodiversidad. Tomo I. Diversidad Biológica. Chaves, M. A.; V. N. Arango Eds. 535 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi.** 2003. Mapa de Suelos de Colombia (escala 1:500.000). Subd. de Agrología. 26 planchas y CD. Bogotá. (en prensa).
- . 2002. Suelos del Andén Pacífico. Subd. de Agrología (en prensa).

- _____. 2000a. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento del Amazonas. Subd. de Agrología. 2 Tomos y Mapas. Bogotá. 543 p.
- _____. 2000b. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Meta. Subd. de Agrología. Tomo I. Bogotá, 531 p.
- _____. 1999. Estudio general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Nariño. 2 Tomos y Mapas. Bogotá. (en prensa).
- _____. 1998. Levantamiento general de suelos y zonificación de tierras. Departamento de Chocó. Subd. de Agrología. Anexos y Mapas. Bogotá, 185 p. (en prensa).
- _____. 1997. Estudio general de suelos y zonificación de tierras de la Región Caribe. Subd. de Agrología. Texto y Mapas. Bogotá. 121 p.
- _____. 1995. Suelos de Colombia - Origen, evolución, clasificación y uso - Subd. de Agrología. Ed. Canal Ramírez Antares. Bogotá. 632 p.
- _____. 1993. Suelos. Departamento de Casanare. Subd. Agrológica. Tomo y Mapas. Bogotá. 424 p.
- _____. 1991. Estudio semidetallado de suelos, sector Carimagua - Gaviotas. (Departamentos Meta y Vichada). Subd. Agrología. Bogotá, 336 p.
- _____. 1988. Suelos y Bosques de Colombia. Subd. Agrológica. Bogotá. 135 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi.** 1986. Estudio general de suelos de la Intendencia de Arauca. Subd. Agrológica. Litografía IGAC. 2 Tomos y Mapas. Bogotá. 268 p.
- _____. 1983a. Estudio general de suelos de la Comisaría del Vichada. Subd. Agrológica. Bogotá, 473 p.
- _____. 1983b. Suelos de sabanas del Norte de Colombia. Subd. Agrológica. Bogotá. 237 p.
- _____. 1980. Génesis de los suelos del Vichada y determinación de vermiculita y montmorillonita en suelos de la Amazonia colombiana. Subd. Agrológica. Bogotá. 181 p.
- _____. CORPOICA. 2002. Zonificación de los conflictos de uso de las tierras en Colombia. Documento en CD. Bogotá, Colombia.
- _____, **CIAF, Ingeominas, Ministerio de Defensa Nacional.** 1979. Proyecto radargramétrico del Amazonas: La Amazonia colombiana y sus recursos. Italgraph S. A. Bogotá. 5 Tomos y Mapas. 590 p.
- Jackson, M. L.** 1969. Weathering of primary and secondary minerals in soils. 9th Int. Congr. of Soil Sci. Transactions. Vol. IV. paper 30. p. 281-292.
- Khobzi, J.** 1981. Los campos de dunas del norte de Colombia y de los llanos de la Orinoquia. Colombia y Venezuela. Rev. CIAF. Vol. 6 (1-3). Bogotá. p. 257-292.
- Köppen, G. E. R.** 1954. Klima der Erde. Vustus Perthes. Darnstadt. Germany.
- Kumada, K.** 1987. Chemistry of soil organic matter. Elsevier. Sc. Publ. 241 p.
- Lamote, M.** 1987. El destino de la materia vegetal en los ecosistemas herbáceos tropicales. En La capacidad bioproductiva de sabanas. IVIC. Centro Internacional de Ecología Tropical. Caracas, Venezuela. p. 1-77.
- Laurance, F. W., Laurance, G. S., Delamonica, P., D'Angelo, S. & S. B. Williamson.** 2002. The dynamics of plant communities in fragmented and continuous Amazonian forest. <http://www.inpa.gov.br/~pdbff/iprojer>.
- Malagón, C. D.** 1998. El recurso suelo en Colombia - Inventario y problemática. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Vol. XXII. No. 82. p. 13-52. Santafé de Bogotá.
- _____. 1995. Génesis - Taxonomía de Espodosoles, Ultisoles y Oxisoles y su relación con el manejo de las tierras en el departamento del Vaupés, Colombia. Trabajo de ascenso a la categoría Profesor Titular de la Universidad Nacional de Colombia. Bogotá (sin publicar).
- _____. 1992. Génesis y caracterización de formaciones volcánicas endurecidas en paleosuelos de la sabana de Bogotá, Colombia. En suelos volcánicos endurecidos. Terra. Vol. 10. México. p. 100-106.
- _____. 1987. Aspectos genéticos y taxonómicos de algunos suelos del Terecay, Vichada, Colombia. En La capacidad bioproductiva de sabanas. Editado por J. J. San José - R. Montes. Instituto de Investigaciones Científicas I. V. I. C. Caracas, Venezuela.
- _____; **C. E. Pulido.** 1996. Estudio genético y taxonómico de Espodosoles, Ultisoles y Oxisoles y su relación con el manejo de las tierras. En Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del municipio de Mitú, departamento de Vaupés. Proyecto INPA II. IGAC. Subd. Agrol. Sección 5. Edit. Linotipia Bolívar. Bogotá. p. 307-399.
- Mendivelso, L. D.** 2003. Comunicación personal.
- Mendoza, C., Sierra, C., Gamboa, E. & A. Lozano.** 2000. Monitoreo ecológico y socioeconómico del ecosistema de catival (*Prioria copaifera*. Griseb) bajo aprovechamiento forestal industrial en la cuenca baja del río Atrato, municipio de Riosucio, Chocó. Colombia.
- Pulido, R. C., Malagón, C. D. & R. R. Llinás.** 1996. Estudio genético y taxonómico de suelos y su relación con el manejo de las tierras. IGAC. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del municipio de Mitú, departamento de Vaupés. Tomo I. Capítulo III, Sección 5. p. 307-399.
- _____. 1990. Paleosuelos del piso alto andino en la región montañosa circundante a Bogotá. Rev. Investigaciones. IGAC. Subd. Agrológica. Vol. 2. No. 2. Bogotá. 198 p.
- Pulido, R. C. & C.D. Malagón.** 1993. Génesis, propiedades y características diagnósticas de los Ultisoles y su relación con el manejo de las tierras. IGAC. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento de Caquetá. Tomo I. Capítulo 2. p. 171-268.
- _____, **C. D. Malagón.** 1998. Estudio genético y taxonómico de suelos y su relación con el manejo de las tierras. Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del Trapecio Amazónico. IGAC. Bogotá. (sin publicar).

- Rao, I., Rippstein, G., Escobar, G. & Ricaurte, J.** 2001. Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia. Ed. Ripptein, Georges, Escobar Germán, Motta Francisco. CIAT.
- Rodríguez, J. & Ballesteros, M.** 1998. Funcionamiento del bosque alto andino, Cundinamarca. *Calidad ambiental*. Vol. III. No. 8. México. Pág. 8-14.
- Rodríguez, L.** 1988. Consideraciones sobre la biomasa, composición química y dinámica del bosque pluvial tropical de colinas bajas. Bajo Calima, Buenaventura. Serie Documentación No. 16, CONIF. 36 p.
- Saldarriaga, G. et al.** 1988. Long - term chronosequence of forest succession in the upper río Negro of Colombia and Venezuela. *Journal of Ecology* 76: 938-958.
- Soil Survey Staff.** 1999. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd Ed. USDA-NRCS. Agriculture Handbook. No. 436. 869 p.
- Thomas, F. M.** 1994. *Geomorphology in the tropics*. Wiley. 460 p.
- Van der Hammen, T.** 1997. Ecosistemas terrestres: Páramos. En Chaves, M. A.; V. N. Arango Eds. p. 22.
- _____. 1992. Historia, ecología y vegetación. Corp. Col. para la Amazonia, Araracuara (COA). Santafé de Bogotá.
- _____. 1981. Glaciares y glaciaciones en el Cuaternario de Colombia: Paleoeología y Estratigrafía. *Rev. CIAF*. Vol. 6 (1-3). Bogotá. p. 635-638.
- _____. 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *J. of biogeography*: 1: 3-26.
- Vélez, Y. J., Poveda, G. & O. Mesa.** 2000. Balances hidrológicos de Colombia. Univ. Nacional, Sede Medellín. Fac. Minas. Postgrado en Aprov. de Rec. Hidráulicos. Todográficas Ltda. 150 p. y CD.
- Wirthmann, A.** 2000. *Geomorphology of the tropics*. Transl. D. Busche. Springer. Berlín. 314 p.
- Zinck, J. A.** 1974. Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. MOP (1974). CIDIAT (1981). Venezuela. IGAC (1987). Documento interno. Bogotá, Colombia. 114 p.

