

LOS FACTORES DE LA PEDOGÉNESIS Y LOS SUELOS EN ECUADOR

Claude Zebrowski
Michel Sourdat
ORSTOM

1. OBSERVACIONES GENERALES

Los suelos fueron agrupados en tres conjuntos, con base en los materiales sobre los cuales se desarrollaron. Cada conjunto es designado con una letra: A para los suelos aluviales, C para los suelos sobre cenizas volcánicas y S para los suelos sobre rocas antiguas.

Dentro de cada conjunto, las diferentes categorías de suelos están definidas por sus características morfológicas, mineralógicas o físico-químicas. Estas se identificaron mediante una sigla que aparece en la leyenda del "mapa de los paisajes naturales" a 1:1'000.000. El "mapa de los suelos" (Mapa N° 1) a escala 1:2'000.000, adjunto a este capítulo, presenta la repartición en forma más sencilla y más directamente accesible.

Los análisis: métodos y abreviaciones

Todos los análisis se realizaron en los laboratorios del ORSTOM.

El pH fue determinado en el agua, 1/2,5.

La capacidad de retención de agua fue medida sobre suelo húmedo a pF 3 y 4,2.

La suma de las bases intercambiables (BI o S) se expresa en me/100 g de suelo, luego de la extracción con el acetato de amonio a pH 7.

La capacidad de intercambio (T en me/100 g de suelo) fue medida con el acetato de calcio a pH 7.

El grado de saturación del complejo absorbente (V) se expresa en porcentaje.

$m = 100 \text{ Al}/(\text{Al}+\text{S})$ es el índice de KAMPRATH, siendo Al la cantidad de aluminio intercambiable extraída por el cloruro de potasio. Refleja muy bien el grado de toxicidad alumínica de los suelos.

El hierro libre expresado en porcentaje de $\text{Fe}_2 \text{O}_3$ en relación con la tierra fina fue determinado por el método DEB.

Los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) fueron determinados por el método "BONDY".

El test NaF (FIEDES y PERROT) muestra la presencia de alofanas por el color rosa de un papel filtro

impregnado con fenol-ftaleína al contacto con el suelo, y de fluoruro de sodio, en ciertas condiciones.

Los minerales arcillosos fueron determinados por difracción de los rayos X.

El carbono (C), la materia orgánica (M.O.), así como el nitrógeno (N), fueron determinados por los métodos tradicionales practicados en los laboratorios de ORSTOM.

Las referencias taxonómicas son las que propuso la CPCS (1967) en el sistema francés, la SMSS (1983) en el sistema americano (USDA Soil Taxonomy).

Los regímenes de temperatura y humedad de los suelos

Los climas ejercen una influencia primordial en la naturaleza, la repartición y las aptitudes de los suelos. Por ello, las nociones de regímenes térmicos e hídricos propios a los suelos revisten una gran importancia en Ecuador, en donde las variaciones espaciales de las temperaturas y precipitaciones son particularmente rápidas.

Las breves definiciones que vienen a continuación están ajustadas a los casos particulares del medio ecuatoriano.

Los regímenes de temperatura

Las medidas de la temperatura del suelo (t. s.) a 50 cm de profundidad realizadas a lo largo del año, muestran que ésta es relativamente constante en un determinado lugar (lo que se expresa con el prefijo "iso" unido al nombre del régimen) y que es, en forma inversa, proporcional a la altitud, para una latitud dada.

Se distinguen 4 regímenes:

- t.s. < 10°: régimen iso-frígido (o críico)
- 10° < t.s. < 13°: régimen iso-mésico.
- 13° < t.s. < 21°: régimen iso-térmico.
- t.s. > 21°: régimen iso-hipertérmico.

El régimen iso-frígido prohíbe prácticamente todos los cultivos. El régimen iso-hipertérmico permite todos los cultivos llamados "tropicales".

La disminución de la temperatura del suelo en altitud es más acentuada en el Sur del país (latitud 4° Sur) que cerca de la línea equinoccial (latitud 0°) a la altura de Quito. (Cuadro 1)

Cuadro 1. Variación del gradiente térmico en Ecuador

Temperaturas del suelo	21°	13°	10°	0°	
Altitud en metros	0	1.700	3.200	3.600	5.200
por una latitud de	4°S	1.500	2.800	3.200	

En cada punto del país, la regularidad del gradiente térmico teórico puede verse modificada por la situación local.

Los regímenes de humedad

Su definición se refiere a los estados de una "sección de control" (S.C.), cuyos límites pueden ser determinados para cada perfil. Puede simplificarse como sigue:

- en el régimen arídico, la sección de control no debe estar húmeda en una de sus partes o en su totalidad, durante más de 90 días consecutivos;

- en el régimen údico, la sección de control no debe estar seca en una de sus partes durante más de 90 días acumulados;

- en el régimen ústico, intermedio entre los dos anteriores, la sección de control debe permanecer seca en una de sus partes durante por lo menos 90 días y estar húmeda durante más de 90 días;

- el régimen perúdicico corresponde al caso en que la pluviosidad es superior a la evapotranspiración cada mes del año: por lo tanto la SC está húmeda prácticamente todo el año.

A estas clases de regímenes de humedad de los suelos corresponden zonas cuyas características climáticas son aproximadamente las que se indican en el cuadro 2.

Cuadro 2. Características climáticas y regímenes de humedad

	Número de meses ecológicamente secos		Precipitaciones en mm	
	Costa	Sierra	Costa	Sierra
régimen arídico	>11	>10	<500	<600
régimen ústico	8 a 11	4 a 10	500-2.000	600-1.000
régimen údico	1 a 8	1 a 4	1.500-3.000	>1.000
régimen perúdicico	0	0	>3.000	>1.000

Además, se define un régimen ácuico para el cual el perfil está más o menos completa o temporalmente saturado de agua, y es mantenido así en condiciones reductoras. Semejante perfil presenta caracteres hidromórficos. En el régimen perácuico, saturación, reducción (e hidromorfismo) son casi permanentes y totales.

2. LA LEYENDA DE LOS SUELOS

LOS SUELOS ALUVIALES: A

Suelos del medio fluvio-marino.....	A1
suelos arenosos de las playas	A11
suelos franco-arcillosos de manglares	A12
Suelos del medio fluvial	
suelos fluviales minerales	
saturados.....	A2
areno-pedregosos	A21
arenosos	A22
francos	A23
arcillosos	
sin capa freática	A24
con capa freática	A25
inundados y salinos	A26
muy arcillosos	
sin capa freática	A27
con capa freática	A28
medianamente saturados con textura no diferenciada...	A3
más o menos hidromórficos	A31
hidromórficos y salinos	A32
suelos pardos ándicos.....	A4
suelos fluviales orgánicos.....	A5

LOS SUELOS SOBRE CENIZAS VOLCANICAS: C

Suelos poco evolucionados.....	C1
arenosos gruesos	C11
arenosos finos	
poco húmíferos	C12
húmíferos	C13
muy húmíferos	C14
Suelos húmíferos con halloysita: Brunizems.....	C2
ústicos	
hipertérmicos	C21
térmicos	C22

údicos		
términos a hipertérmicos		C23
mesotérmicos		C24
Suelos húmíferos con alófanos: Andosoles.....	C3	
andosoles saturados		C31
andosoles desaturados		
andosoles desaturados típicos		
pardo oscuros (t.s.>13°)		C32
negros (t.s.<13°)		C33
andosoles desaturados perhidratados		
pardo amarillos (t.s.>13°)		C34
negros (t.s.<13°)		C35
LOS SUELOS SOBRE ROCAS ANTIGUAS: S		
Suelos poco evolucionados.....	S1	
suelos amarillentos con pH>7		
con clima muy seco		S11
con clima seco		S12
suelos amarillentos con pH<7		
poco húmíferos		S13
húmíferos		S14
muy húmíferos: rankers		S15
suelos rojizos		S16
Planosoles.....	S2	
planosoles vérticos		
con Bt macizo		S21
con Bt friable		S22
planosoles no vérticos		S23
Suelos con caracteres mólicos.....	S3	
suelos mólicos údicos		
profundos, arcillo-limosos		S31
medianamente profundos, francos a arcillosos		S32
arcillo-pedregosos		S33
suelos mólicos ústicos		
profundos, arcillosos		S34
medianamente profundos		S35
Suelos vérticos y vertisoles.....	S4	
vertisoles arídicos		S41
vertisoles ústicos		
arcillosos		S42
arcillo-arenosos		S43
vertisoles údicos		S44
Suelos pardos.....	S5	
suelos pardos arenosos		S51
suelos pardos francos		S52
suelos pardos arcillosos		
ústicos		S53
údicos		S54
Suelos fersialíticos.....	S6	
rojos, ricos en pseudo-arenas		
arcillosos, poco profundos		S61
arcillo-gravosos, medianamente profundos		S62
amarillos a rojizos, arcillosos		
poco o no lixiviados		S63
lixiviados		S64
Suelos ferralíticos y pseudo-ferralíticos		
suelos ferralíticos saturados.....	S7	

suelos ferralíticos arcillosos, poco o no lixiviados	
ústicos	S71
údicos	S72
suelos ferralíticos arcillo-pedregosos, lixiviados	S73
suelos ferralíticos o pseudo-ferralíticos, desaturados.....	S8
suelos ferralíticos desaturados (minerales arcillosos 1/1)	
poco húmíferos	
rojos (30<m<80)	S81
pardos (m>70)	
con kaolinita	S82
con halloysita	S83
amarillo/rojo (m>90)	
profundos	S84
erosionados, poco profundos	S85
húmíferos	S86
cobertura compleja de suelos ferralíticos (con minerales 1/1)	
y pseudo-ferralíticos (con minerales 2/1) no diferenciados	
poco húmíferos	
rojos	S87
amarillos	S88
erosionados poco profundos	S89
húmíferos	S90
Suelos podzólicos	S100

3. LOS SUELOS ALUVIALES: A

Son suelos formados sobre materiales sedimentarios recientes. Pertenecen a dos medios muy distintos: el medio fluvio-marino y el medio fluvial.

3.1. SUELOS DEL MEDIO FLUVIO-MARINO: A 1

Están localizados en las playas y en los cordones litorales (A11), así como en los manglares (A12) que reúnen al manglar propiamente dicho con suelos francos a franco-arcillosos saturados de agua y salinos, y a la parte posterior del manglar, constituida por zonas emergidas, sin vegetación debido a su alto contenido en sal. Actualmente utilizadas para la construcción de piscinas para camarones, estas zonas tienden a desaparecer.

3.2. SUELOS DEL MEDIO FLUVIAL

3.2.1. Los suelos fluviales minerales

Corresponden a la casi totalidad de los suelos aluviales de la región costanera, así como a una gran parte de los de la Amazonía. El grado de saturación del complejo absorbente, así como la textura del suelo permiten distinguir varios conjuntos.

Los suelos fluviales saturados: A 2

Están localizados en la región suroeste de la Costa en donde el clima limita la lixiviación de las bases.

Los suelos areno-gravosos (A21) y los suelos arenosos (A22) están ubicados al inicio de los valles y de los conos recientes del piedemonte occidental. Los primeros son típicamente suelos minerales mientras que los segundos poseen generalmente un horizonte húmífero bien marcado.

Los suelos francos (A23) están por lo general ubicados aguas abajo de los anteriores y se caracterizan por una interstratificación de capas con texturas diferentes (areno-limosa, franca, arcillosa).

Los suelos arcillosos tienen una textura homogénea hasta una gran profundidad (A24). Los que presentan una capa freática a poca profundidad (A25) tienen colores muy marcados por la hidromorfismo. En las zonas cercanas al

medio fluvio-marino, los suelos son salinos y totalmente empapados (A26).

Los suelos muy arcillosos (más de 60 % de arcilla), están ubicados en la parte baja de la cuenca del Guayas. Su arcilla de tipo montmorillonítico y sus características morfológicas permiten asimilarlos a los Vertisoles. Son negros cuando están emergidos una gran parte del año (A27). Sin embargo, los de las zonas más deprimidas están frecuentemente empapados y tienen característicos colores gris-oliva (A28).

Características analíticas

Por lo general los pH son ligeramente ácidos (6,2 a 6,8). Las proporciones de elementos intercambiables, así como los valores de la capacidad de intercambio están estrechamente relacionados con la cantidad de elementos finos. Los valores muy elevados de bases intercambiables de los suelos más arcillosos (63 a 70 me/100 g) se deben a fuertes cantidades de sodio (15 a 20 me).

El complejo absorbente está por lo general saturado, salvo en el caso de los suelos arenosos (V desde 66 a 74 %) que están ubicados al pie de la cordillera, es decir, en las zonas más húmedas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Algunas características físico-químicas de los suelos aluviales

suelos	profundidad (cm)	textura en %			pH	B.I. me	V%	C‰
		Arc.	L	Ar.				
arenosos	0-10	6,2	24,8	64,1	6,0	11,1	74	10,5
A 22	40-50	2,1	27,6	68,6	6,6	7,9	66	2,1
francos	0-20	16,6	33,8	44,2	6,3	15,1	89	18,9
A 23	80-90	12,9	58,3	24,9	7,1	18,5	97	1,3
arcillosos	0-20	39,4	52,7	1,8	6,2	29,0	sat	13,3
A 24	80-90	38,8	47,4	7,2	6,4	33,5	sat	3,0
muy arcillosos	0-20	64,2	27,4	1,9	6,8	69,9	sat	20,9
A 27	80-90	61,1	30,4	0,2	6,8	62,6	sat	0,9

Los suelos minerales medianamente saturados: A 3

Están ubicados en las zonas más húmedas tales como la región amazónica y el Norte de la provincia de Esmeraldas.

Los perfiles son por lo general estratificados y están marcados por la hidromorfismo. Las tasas de saturación son muy variables: 30 a 60 %, excepcionalmente más. La suma de las bases intercambiables está comprendida entre 2 y 25 me.

La mayoría de estos suelos no es salina (A31), pero los que están ubicados en la desembocadura de los grandes ríos del Norte de Esmeraldas (A32) están bajo la influencia de las mareas y poseen contenidos de sal nada despreciables.

Los suelos pardos con caracteres ándicos: A 4

Se desarrollaron a partir de depósitos aluviales de origen volcánico, localizados en la región amazónica. Difieren entre sí por estratificaciones texturales variadas y por proporciones de minerales primarios, vidrios, alofanos o arcillas de tipo halloysítico propias a cada uno de los estratos.

Se pueden observar diferentes grados de evolución desde las arenas grises, pasando por los limos "beige", hasta las arcillas cuyo color pardo es muy característico.

El horizonte humífero está muy bien marcado. La reacción al fluoruro de sodio es por lo general fuerte.

Los pH están comprendidos entre 5,4 y 5,7, las bases intercambiables entre 1 y 10 me.

La tasa de saturación es siempre inferior al 50 %.

Por lo general, estos suelos están bien drenados y son blandos.

3.2.2. Los suelos fluviales orgánicos: A 5

Están localizados en zonas deprimidas, esencialmente en la Amazonia, en donde el empapamiento permanente de los perfiles favorece la acumulación de residuos vegetales incompletamente descompuestos.

Son suelos hidromorfos orgánicos, rara vez minerales, con gley.

El horizonte orgánico está formado de materias fibrosas en grandes espesores (hasta 2 m). Es muy ácido (pH de 4,5), pobre en bases y desaturado (5%).

Los horizontes minerales subyacentes son gleyificados, de francos a franco-arcillosos, fluidos o plásticos. Son moderadamente ácidos (pH de 5,7), ricos en bases y saturados: 50 hasta 90 %.

4. LOS SUELOS SOBRE CENIZAS VOLCÁNICAS: C

Los suelos desarrollados a partir de cenizas volcánicas son particularmente importantes en el Ecuador, tanto por la superficie que ocupan (más del 30 % del territorio), como por el interés agronómico que representan. Se escalonan desde el nivel del mar hasta una altitud superior a 5.000 m, y la variedad de los climas bajo los cuales se formaron es en gran parte responsable de la diversidad de sus características. Su pedogénesis depende también de la naturaleza y de la edad de los materiales de los que proceden.

4.1. LAS EMISIONES VOLCÁNICAS

Alrededor de cuarenta volcanes han depositado cantidades importantes de cenizas y de lapilli en el centro y Norte del país. La actividad volcánica, relativamente continua en el tiempo, pasó probablemente por una fase de calma entre -18.000 y -10.000 años. Después de esta fecha, que corresponde aproximadamente al final de la última glaciación, sólo 8 volcanes tuvieron una actividad notoria y 3 de ellos están hoy en día apagados (Cuicocha, Quilotoa y Sumaco), mientras que los otros 5 siguen activos, o se han reactivado recientemente (Reventador, Sangay, Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua).

Las proyecciones antiguas, anteriores a -18.000 años, se presentan, en la Sierra, bajo la forma de depósitos de lapilli de espesor considerable. En consecuencia, en las regiones alejadas de los centros de emisión, el espesor de los suelos es de cierta importancia. Así, en Quinindé, en la región costanera, a más de 100 km de la cordillera volcánica occidental, los suelos, alcanzan todavía espesores de aproximadamente diez metros en relieves suavemente ondulados. Sin embargo, al Oeste, el relieve es más fuerte y los suelos desarrollados a partir de las cenizas han sido erosionados. Sólo se pueden identificar algunos vestigios en sitios protegidos. En las regiones andinas más elevadas, las proyecciones antiguas y los suelos derivados de ellas han sido barridos por la erosión glaciaria, sobre todo la de la última glaciación.

Los suelos formados sobre estos depósitos antiguos son por lo general difíciles de identificar, ya que están cubiertos por cenizas recientes. Sin embargo, en algunas regiones secas de las cuencas interandinas, la erosión de las cenizas recientes permite que afloren los antiguos depósitos: se presentan bajo la forma de capas cementadas llamadas localmente "cangagua" o "cangahua". En la región costanera, el poco espesor de los depósitos recientes también permite identificar suelos formados sobre estos materiales antiguos.

Las cenizas recientes tienen una edad inferior a 10.000 años. Una fase de erupción general que involucró a todos los volcanes recientes se produjo hace aproximadamente 6.000 años. Una segunda fase de emisión particularmente extensa fue datada de -2.600 años. Una última fase importante se produjo entre -1.600 y -1.300 años. Desde entonces, las erupciones son mucho menos fuertes y de menor alcance. Por lo tanto, es probable que la totalidad de las cenizas a partir de las cuales se desarrollaron los suelos actuales tengan una edad entre 2.600 y 1.600 años.

La extensión de las cenizas recientes es comparable a la de las cenizas antiguas debido a que las primeras cubren a las segundas. En la región costanera, en Quinindé, tienen un espesor de un metro (mientras que las antiguas tienen 10 m de espesor), que disminuye hacia el Sur para alcanzar solamente alrededor de treinta centímetros al Norte de Balzar.

En la vertiente amazónica, la profunda alteración de las cenizas, debida a la agresividad del clima, no permite

diferenciar lo que resulta de las antiguas o de las recientes.

En la región andina, las cenizas recientes han cubierto no solamente las antiguas, sino también las zonas en donde éstas han sido erosionadas por los glaciares. Su espesor disminuye progresivamente de Norte a Sur a medida que nos alejamos de los centros de erupción. Al Sur de Azogues, sólo se encuentran en los páramos, probablemente porque la humedad reinante en estos lugares favorece su rápida alteración mientras que en las cuencas interandinas, más secas, han sido erosionadas. Algunos suelos derivados de cenizas, identificados al extremo Sur (en la zona de Zaruma, por ejemplo), son testimonio de la gran extensión original de estos depósitos.

4.2. LOS FACTORES DE LA PEDOGÉNESIS

4.2.1. Los materiales

Las proyecciones recientes son mineralógicamente bastante homogéneas. Su composición permite asimilarlas a dacitas cuya basicidad aumenta progresivamente de Norte a Sur: las proporciones de hornblenda disminuyen mientras que las de hiperstena aumentan.

Sin embargo, en comparación con los demás factores, estas variaciones de composición química de las proyecciones volcánicas resultan poco significativas.

La edad de los materiales es, sin embargo, particularmente importante. El rejuvenecimiento de los suelos, debido a la sucesión de depósitos de cenizas, contribuye a mantener cerca de los volcanes recientes suelos poco evolucionados. Bajo un mismo clima, las características de los suelos son muy diferentes según la edad de los depósitos. Es así como se pudo evidenciar un cierto número de cronosecuencias resumidas en el cuadro 4.

Cuadro 4. Ejemplo de cronosecuencias en varias condiciones climáticas

Clima	Régimen hídrico del suelo	Edad =====>
seco	arídico	suelos poco evolucionados brunizem -----> vertisol (halloysita- (montmorillonita) montmorillonita)
	ústico	brunizem -----> suelo ferralítico (halloysita) (metahalloysita)
húmedo	ústico	arenosos Andosol saturado - -> suelo ferralítico (halloysita)
	ústico	Andosol desaturado - -> Andosol perhidratado

El tamaño de los piroclastos es una característica determinante en la evolución de los suelos, ya que los elementos finos como cenizas, se ven más rápidamente alterados que las proyecciones gruesas del tamaño de los lapilli. La heterogeneidad granulométrica de los diferentes depósitos es frecuente, por lo que cerca de los edificios volcánicos recientes la existencia de perfiles complejos compuestos por una alternancia de horizontes de cenizas alteradas y de lapilli no alterados es generalizada. Sin embargo, sólo las partículas finas empujadas por el viento pueden alejarse a distancias considerables de estos edificios; su alteración es rápida y los perfiles resultantes más homogéneos.

La repartición longitudinal de los piroclastos según su granulometría es responsable del hecho de que los suelos de los páramos ubicados más al Sur (páramos de Cuenca, de Santa Isabel) con climas iguales, sean más evolucionados que lo ubicados en los páramos que rodean a los edificios volcánicos recientes como los de Latacunga o Riobamba.

4.2.2. El clima

Es el factor de pedogénesis más impactante. A la baja de temperatura provocada por el aumento de la altitud corresponde una acumulación de materia orgánica en los suelos que les confiere un color más negro. Así, los suelos que tienen regímenes de temperatura crfca y méscica son uniformemente negros. Sólo con el régimen de temperatura térmica aparece un horizonte más claro que se ubica más cerca de la superficie a medida que aumenta la temperatura.

No es posible establecer una relación lineal entre las proporciones de materia orgánica y la altitud. Las cantidades de materia orgánica dependen, sobre todo, del tipo de suelo: para cierto tipo, aumentan efectivamente con la altitud, sobre todo si se considera la cantidad total de materia orgánica en una profundidad de un metro y no solamente los valores a una profundidad dada (Cuadro 5).

Cuadro 5. Contenido en materia orgánica (%) y relación C/N en los diferentes tipos de suelos volcánicos en función de la altitud

Zona muy húmeda: Andosol perhidratado

Altitud	1.000 m		3.000 m		4.000 m	
n° de perfil	488		521		522	
Prof. (cm)	M.O.	C/N	M.O.	C/N	M.O.	C/N
0-20	28	18,4	39	15,9	55	15,8
50	11	12,3	30	26	36	22,2
100	10,7	13,5	23	28		

Zona húmeda: Andosol desaturado

Altitud	400 m		2.000 m		3.000 m		4.000 m	
n° de perfil	76		502		501		515	
Prof.(cm)	M.O.	C/N	M.O.	C/N	M.O.	C/N	M.O.	C/N
0 - 20	11,9	11,7	12	10,9	15,8	13,9	14,8	15,2
50	2,4	8,8	6	10,7	12,3	14	10,4	17,2
100	2,1	12,8	4,4	9,9	14,5	17	13,4	18,6

Zona húmeda: Brunizem

Altitud	200 m		2.600 m	
n° de perfil	SQ 9		546	
Prof. (cm)	M.O.	C/N	M.O.	C/N
0 - 20	8,6	9,6	9,7	9,4
50	2,8	10,5	6,2	9,5
100	-	-	7	12

Zona seca: Brunizem

Altitud	2.600 m	
n° de perfil	492	
Prof. (cm)	M.O.	C/N
0 - 20	1,7	12
50	0,5	15

La relación C/N es poco elevada en los suelos ubicados a una altitud inferior a 2.800 m, sea cual fuere su tipo. Luego se aumenta rápidamente con la altitud mientras que su valor se incrementa también de arriba hacia abajo del perfil.

La proporción de ácidos húmicos en relación con los ácidos fúlvicos varía también con la altitud: la relación AH/AF es por lo general superior o igual a 1 en altura y aumenta con la profundidad. En las regiones tropicales cálidas, son los ácidos fúlvicos los que predominan sobre los ácidos húmicos. Tanto en altura como en la región cálida, la existencia de una estación seca bien marcada favorece la acumulación de ácidos húmicos.

Las precipitaciones, y sobre todo la duración de la estación seca que está inversamente relacionada con su volumen, desempeñan un papel primordial en algunas características de los suelos. Las principales relaciones entre estas últimas y las precipitaciones se reseñan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Relaciones entre precipitaciones y algunas características de los suelos (edad de los suelos: cerca de 1.600 años)

Precipitaciones		→			
Duración de la estación seca		→			
Régimen hídrico del suelo		arídico	ústico	údicó	
Cantidad de M.O.		→			
Saturación del complejo absorbente		acumulación de CaCO ₃		50 % →	
pH		7 →			
Mineralogía		-minerales primarios -minerales arcillosos muy poco abundantes	-minerales primarios -algunos minerales arcillosos: Smect., Halloysita	Halloysita	productos amorfos
Caract. ligadas a la mineralogía	Retención de agua	100 % →			
	reacción NaF	Negativa		Positiva →	
Suelos	poco evolucionados arenosos	isohúmicos (Brunizems)	andosoles		
			saturados	desaturados	perhidratados

Con el aumento de las precipitaciones, y la consecuente menor duración de la estación seca, las cantidades de materia orgánica se incrementan, mientras que la tasa de saturación del complejo absorbente, así como el pH, disminuyen.

Se puede observar que, en estos materiales recientes y homogéneos, los valores del pH están estrechamente relacionados con los regímenes de humedad de los suelos: mientras la acumulación de carbonato de calcio y los pH superiores a 7 se producen para regímenes cercanos al arídico, (el pH de 7 corresponde aproximadamente a la transición ústico-údicó), los valores de 6 se alcanzan con un régimen údicó.

En las zonas más húmedas, la pedogénesis conduce a la individualización y al mantenimiento de productos amorfos en los suelos, mientras que en las regiones con estación seca bien marcada predomina la síntesis de minerales arcillosos.

El poder de retención de agua de los suelos está directamente relacionado con la proporción de elementos finos pero, sobre todo, con la naturaleza de los constituyentes mineralógicos: los suelos ricos en productos amorfos tienen capacidades de retención de agua que pueden alcanzar valores del 300 %. Sin embargo, en los suelos poco

evolucionados de la regiones secas, pobres en elementos finos, la capacidad de retención de agua está directamente relacionada con las cantidades de materia orgánica que se encuentran en el suelo.

Por lo tanto, los suelos actuales se desarrollaron, con algunas excepciones, a partir de materiales homogéneos tanto por su composición como por su edad. Así, es ante todo el clima el responsable de las variaciones observadas en sus características.

4.3. LOS SUELOS POCO EVOLUCIONADOS: C 1

Los suelos poco evolucionados son suelos jóvenes provenientes de cenizas muy recientes o ubicados en zonas climáticas en donde la sequía limita la velocidad de alteración de los materiales originales. Por lo tanto, se encuentran ya sea alrededor de los principales centros de emisión recientes, o en el fondo de las cuencas interandinas. Finalmente, algunos son “suelos poco evolucionados de erosión” ubicados en regiones frías y relativamente secas en donde la erosión eólica es actualmente más importante que la formación del suelo.

Tenemos que distinguir los suelos con textura gruesa (arena gruesa a guijosa) de los suelos de arena fina.

4.3.1. Los suelos de arena gruesa: C11

Corresponden, en su mayoría, a los suelos de aportes recientes ubicados alrededor del Cotopaxi, del Tungurahua y del Sangay, cuya actividad es reciente o actual. Se presentan como sucesiones de estratos con texturas diferentes, que van desde arenas hasta lapilli según la naturaleza de las emisiones. El rejuvenecimiento frecuente de los depósitos así como una erosión importante en las faldas de los volcanes explican su carácter mineral.

Al oeste del Chimborazo, la erosión eólica ha limpiado el suelo superior despejando así los estratos de lapilli provenientes de emisiones anteriores no alteradas.

4.3.2. Los suelos de arena fina

Constituidos generalmente por arenas inferiores a 1,2-0,5 mm, se caracterizan por una capacidad de retención de agua a pF 3 (en suelo húmedo) inferior al 20 %, valor poco elevado, debido a la ausencia de partículas finas. Las tasas de materia orgánica permiten distinguir tres conjuntos.

En el fondo de las cuencas interandinas, los suelos presentan cantidades de materia orgánica inferiores al 1% (suelos C12). El régimen de temperatura de los suelos es isomésico y el de humedad, ústico. El pH se aproxima a 7, elevándose hasta 8 en las regiones más secas, mientras que el carbonato de calcio se acumula en el perfil. Los suelos son, en su mayoría, profundos, desarrollados a partir de cenizas volcánicas que reposan sobre un substrato fluvial también arenoso. Localmente, estos suelos de poco espesor cubren cenizas antiguas endurecidas (cangahua) que afloran cuando los suelos están erosionados.

En las partes más elevadas de las cuencas, la temperatura baja y aumentan las cantidades de materia orgánica:

* En zona seca (régimen ústico), las tasas de materia orgánica están comprendidas entre 1 y 3% (suelos C13), el pH se aproxima a 7 y la saturación del complejo absorbente es superior al 50 %;

* En zona húmeda (régimen údico), las cantidades de materia orgánica son aun más elevadas, muchas veces superiores al 3% (suelos C14), el pH se aproxima a 6 y la tasa de saturación es inferior al 50 %.

Todos estos suelos son pobres en minerales arcillosos. En región seca, cuando el análisis permite encontrarlos, predominan los minerales arcillosos con 14 A°; por el contrario, en región húmeda, los suelos presentan una ligera reacción al test con NaF lo que indica la presencia de algunas alofanas.

4.4. LOS SUELOS HUMÍFEROS CON HALLOYSITA, LOS BRUNIZEMS: C 2

Son suelos franco-arenosos en los cuales la fracción de arcilla está constituida por minerales de tipo halloysítico. El complejo absorbente presenta una saturación de más del 50 %.

Se encuentran en zonas climáticas cuya humedad, suficiente pero no exagerada, permite la evolución de los materiales hacia una síntesis de minerales arcillosos sin privilegiar la de los productos amorfos.

Según la clasificación francesa, todos son suelos “isohúmicos” que pertenecen al grupo de los Brunizems; en la

Soil Taxonomy son Mollisols.

Se distinguieron cuatro conjuntos según los regímenes de humedad y de temperatura a los cuales están sometidos los suelos:

- Los suelos con régimen ústico e hipertérmico (C21) están ubicados en la región costanera al extremo Suroeste de la zona alcanzada por las proyecciones volcánicas.
- Los suelos con régimen ústico y térmico (C22) están localizados en el callejón interandino en altitudes generalmente más elevadas que las de las regiones en donde se encuentran los suelos poco evolucionados arenosos.
- Los suelos con régimen ústico térmico (C23) y los que tienen un régimen ústico y mésico (C24) están también ubicados en el callejón interandino pero en altitudes superiores a las anteriores.

Morfología

Es muy parecida en todos los tipos de suelos. Después de un primer horizonte pardo oscuro, 10 YR 3/2, franco-arenoso, friable, poco estructurado, sigue un segundo horizonte más oscuro, 10 YR 3/1 ó 2/1, ligeramente más arcilloso y mejor estructurado (elementos poliédricos finos), con un espesor muy variable (entre 20 y 80 cm).

Los suelos ubicados en las altitudes más elevadas, presentan un régimen mésico, tienen un color más oscuro, negro pardo en superficie (2/1), francamente negro en profundidad (2/0).

La superposición de los suelos

Los suelos provenientes de proyecciones volcánicas recientes reposan sobre formaciones antiguas cuyas características difieren según las regiones.

En la región costanera, las cenizas antiguas han formado suelos muy arcillosos, fuertemente estructurados pero muy coherentes. Los minerales arcillosos están representados por metahalloysita y halloysita. La transición entre el suelo reciente, cuyo espesor disminuye regularmente hacia el Suroeste hasta unos cuarenta centímetros, y el suelo antiguo, es brutal. Está frecuentemente marcada por un horizonte de acumulación de pequeñas concreciones ferromangánicas que reflejan muy bien las condiciones de hidromorfia en la zona de contacto entre los dos suelos.

En la región interandina, las cenizas antiguas, más o menos endurecidas (cangahua) según la intensidad de la sequía, son ricas en halloysita en las zonas más húmedas, en tanto que la montmorillonita predomina en las regiones secas. En estas últimas, los suelos isohúmicos recubren muchas veces Vertisoles cuyas grietas de contracción han sido rellenadas por concreciones calcáreas provenientes de la alteración de las cenizas recientes que los cubren.

Características físico-químicas

La fineza de los materiales que alcanzaron a la región costanera, así como la temperatura más elevada que reina en ella, explican el hecho de que, para cenizas de edad idéntica, la textura de los suelos es más arcillosa en la llanura costanera que en los Andes (Cuadro 7).

Cuadro 7. Algunas características físicas de los suelos humíferos con halloysita

Localización	Régimen hídrico	Régimen de temperatura	Suelo	Textura %		d.a.	Retención de agua a pF 3	Reacción NaF	Mineralogía
				A.	L.F				
Zona costera	Seco (ústico)	T.S.>21°	C21	25-35	25-20	0,9	> 20%	negativa	metahalloysita halloysita
2.800 a 3.200m		T.S. 13-21°	C22	superficie 10-14	22-28	1,2	≈ 20%		montmorillo. halloysita
Andes	Húmedo (ústico)	T.S. 13-21°	C23	profundidad		0,8	> 20%	positiva	halloysita
		T.S. 10-13°	C24	19-22	21-28	a			halloysita transición alófano
						0,9			

La densidad aparente (d.a.) se aproxima a 1,0 en los suelos ubicados a altitudes inferiores a 3.500 m. Va en aumento a medida que la textura es más arenosa. Sin embargo, baja con la altitud, correlativamente con la aparición de productos amorfos, revelados por el test NaF.

La halloysita sólo puede ser identificada con facilidad en las regiones húmedas; en las regiones secas de la Sierra, sólo aparece en pequeña cantidad junto con montmorillonita y otras arcillas interstratificadas. En la región costanera es remplazada por metahalloysita, bien cristalizada en las zonas más secas.

La retención de agua a pF 3 es superior al 20 %. Sólo se acerca a este valor en el caso de los suelos de las regiones secas en los cuales las cantidades de arcilla son mínimas.

El pH se aproxima a 6, ligeramente más elevado en los suelos de las regiones secas sobre todo en la parte inferior de perfiles, en donde el carbonato de calcio puede estar presente en forma de finos micelios.

Las proporciones en elementos intercambiables están comprendidas entre 10 y 15 me por 100 g de suelo, siendo un poco más elevadas en los suelos más arcillosos. La tasa de saturación del complejo absorbente depende esencialmente del clima: cercana a 80 en las zonas más secas, ésta baja con la disminución de la duración de la estación seca. En las regiones más húmedas, con la aparición de productos amorfos, baja hasta el 50 % e incluso menos.

Las tasas de materia orgánica son elevadas, sólo disminuyen lentamente en profundidad. Con igual tasa de arcilla, las cantidades de materia orgánica son más elevadas en las regiones húmedas que en las regiones secas. En estas últimas, las proporciones de materia orgánica aumentan a medida que los suelos son más arcillosos (Cuadro 8).

Cuadro 8. Algunas características químicas de los suelos humíferos con halloysita.

Localización	Régimen hídrico	Régimen de temperatura	Suelo	pH	B.I. me	Saturación (%)	M.O. (%) en superf.	AH/AF
Zona Costera	seco (ústico)	T.S.>21°	C21	6-7	17-18	60-70 hasta 80	6-10	cerca de 1
2.800 a 3.200m		T.S.13-21°	C22					3-4
Andes	húmedo (údico)	T.S.13-21°	C23	5,5 a 6,5	10-15	55-70 a veces <50		cerca de 1 aumenta en profundidad
		T.S.10-13°	C24					

Los contenidos de ácidos húmicos siguen siendo más elevados que los de ácidos fúlvicos. Bajo un mismo régimen térmico, las cantidades de los primeros son mayores en región seca que en región húmeda. Cuando la humedad es la misma, el valor de la relación AH/AF es más elevado en altitud que en la zona costanera.

4.5. LOS SUELOS HUMÍFEROS CON ALOFANAS, LOS ANDOSOLES: C3

Los Andosoles se caracterizan por el predominio, entre los minerales secundarios, de productos amorfos que conforman, junto con la materia orgánica, complejos organo-minerales estables. Como el mantenimiento de los productos amorfos en el suelo se ve favorecido por una humedad permanente, los Andosoles están presentes en todas las regiones húmedas a perhúmedas recubiertas por materiales piroclásticos. Algunas características, tales como la tasa de saturación y la capacidad de retención de agua del suelo, dependen de las precipitaciones o de la humedad ambiente. Sus valores permiten definir algunos conjuntos.

4.5.1. Los Andosoles saturados (tasa de saturación > 50%): C 31

En una secuencia climática en la que el clima va de seco a húmedo, estos Andosoles saturados son intermedios entre los suelos isohúmicos anteriores y los Andosoles desaturados. Aunque puedan existir teóricamente en zonas relativamente secas (régimen ústico), en el Ecuador sólo han sido observados bajo régimen údico.

En las regiones andinas, las variaciones climáticas correspondientes a un aumento de la humedad con la altitud, se producen en distancias cortas. Por lo tanto, estos suelos sólo ocupan estrechas franjas de terreno, más o menos paralelas a las curvas de nivel. Además, resulta difícil identificarlos con exactitud ya que, paralelamente a la disminución de la tasa de saturación, los minerales arcillosos son remplazados progresivamente por productos amorfos, de tal manera que los límites entre suelo isohúmico, Andosol saturado y desaturado no son rigurosos.

En la región costanera, las variaciones climáticas son mucho menos drásticas que en la Sierra. Por lo tanto, los Andosoles saturados ocupan una franja de un ancho considerable, de cada lado de la ciudad de Quevedo.

En esta región, el suelo tiene un espesor mediano (80 a 90 cm) con un horizonte humífero de alrededor de quince centímetros, pardo oscuro, rico en materia orgánica (8 a 10 %), al cual sigue un horizonte amarillo intenso aún rico en materia orgánica (3 % a 90 cm) y muy friable. El conjunto es muy untuoso y presenta una fuerte reacción al fluoruro de sodio, debido a una elevada concentración de productos amorfos. La difracción de rayos X también revela un poco de halloysita.

Este suelo reciente (1.600 años según dataciones con C 14) cubre un paleosuelo, formado a partir de cenizas antiguas, rojizo, muy arcilloso (metahalloysita y halloysita) que representaría, si las condiciones climáticas no hubieran variado considerablemente desde hace algunos miles de años, el suelo climático al cual este Andosol debe llegar.

Características analíticas

Los resultados del análisis granulométrico muestran el brusco aumento de los contenidos de elementos finos en los suelos enterrados (Cuadro 9).

Cuadro 9. Características físicas de los Andosoles saturados de la región costanera.

	profundidad en cm	textura en %				d.a.	agua pF 3
		Arc.	LF	LG	Ar.		
suelo reciente	0-15	16,8	30,4	19,2	24,5	0,75	48,4
	50-70	15,5	29,3	21,0	31,9	0,74	47,4
suelo enterrado	150	71,8	14,0	4,0	3,2	> 1	-

Los valores de la densidad aparente, inferiores a 0,8, confirman el carácter ándico de los suelos de superficie. Los valores de la tasa de saturación son la causa de su agrupación con los Andosoles saturados (Cuadro 10).

Cuadro 10. Características químicas de los Andosoles saturados de la región costanera.

	prof. en cm	pH	BI me/100	S/T %	M.O. %	C/N
suelo reciente	0-15	6,6	24,8	71	8,6	9,6
	50-70	6,7	11,7	55	3,0	9,7
suelo enterrado	150	6,5	9,9	55	0,3	-

4.5.2. Los Andosoles desaturados

Son Andosoles en los cuales la tasa de saturación del complejo absorbente es inferior al 50 %. Están ubicados en las regiones más húmedas, tanto en altitud como en los relieves ligeramente ondulados de la Amazonía o de la región costanera. También se encuentran en las vertientes externas de los Andes en asociación con rocas y suelos rejuvenecidos y transformados, en las pendientes más fuertes.

Se separaron dos grandes conjuntos según su capacidad de retención de agua a pF 3. El primero, con una capacidad inferior al 100 %, corresponde a los Andosoles desaturados propiamente dichos (Dystrandeps en la Soil

Taxonomy); el segundo, con una capacidad superior al 100 %, a los Andosoles perhidratados (Hydrandepts en la Soil Taxonomy). Estos dos conjuntos fueron, a su vez, divididos en dos subconjuntos en función de la temperatura del suelo (superior o inferior a 13°).

Andosoles desaturados típicos (con capacidad de retención de agua inferior al 100 %)

Morfología

Las características morfológicas pueden variar sustancialmente a medida que nos alejamos del centro de emisión. A poca distancia, el suelo es de gran espesor, está constituido por una alternancia de horizontes alterados y de capas de lapilli blancuzcas poco o nada alteradas. Lejos del centro de emisión, el suelo, más alterado en su conjunto, presenta un aspecto más homogéneo y todavía puede alcanzar 1,50 m de espesor.

La textura varía de franco-arenosa a franca, siendo los suelos más arenosos conforme se acercan a los volcanes.

Por lo general, el grado de estructuración es bajo y el perfil presenta muchas veces un aspecto macizo. Los terrones, aunque friables, presentan cierta cohesión.

El suelo es ligeramente untuoso y la porosidad sigue siendo elevada.

El color de los horizontes depende estrechamente de la altitud a la cual se encuentra el suelo.

Se distinguen dos subconjuntos según los regímenes de temperatura del suelo, y por lo tanto, según la altitud:

. Los suelos ubicados a menos de 3.000 m (C 32), presentan un régimen de temperatura térmico ($13^{\circ} < t.s. < 21^{\circ}$) o hiper-térmico (t.s. superior a 21°). El horizonte humífero es medianamente oscuro (croma de 2) y de escaso espesor. El horizonte subyacente puede ser amarillo intenso (10YR 5/6 o 5/8) aunque todavía rico en materia orgánica (5 %), o más oscuro (10YR 3/3) en el caso de los suelos más jóvenes, más arenosos y menos ricos en productos amorfos.

. Los suelos ubicados a más de 3.000-3.200 m (C 33) tienen regímenes de temperatura méxicos (t.s. entre 10 y 13°) o crícos (t.s. $< 10^{\circ}$). Tienen tintes muy oscuros (croma inferior o igual a 1). En efecto son muy humíferos (más del 10 % de materia orgánica hasta 1 m de profundidad). En numerosos casos, el color, relativamente más claro debajo del horizonte de superficie, puede oscurecerse de nuevo en profundidad.

Los suelos antiguos enterrados por suelos recientes son todos Andosoles perhidratados. Sin embargo, en los páramos en donde la erosión glaciaria limpió los suelos antiguos, los Andosoles desaturados reposan directamente sobre la roca o sobre materiales glaciares.

Características analíticas comunes

En el caso de los suelos más arenosos, cercanos a los centros de emisión, la densidad aparente, generalmente inferior a 0,8, puede alcanzar valores cercanos a 1.

La capacidad de retención de agua a pF3 es superior al 50% en los horizontes de superficie y aumenta progresivamente en profundidad en donde puede alcanzar valores superiores a 100. Sin embargo, en los suelos arenosos, siempre es más baja, inferior al 50 %.

Si bien el pH (cercano a 6), la capacidad en elementos intercambiables (de 2 a 4 me/100 g) y la tasa de saturación (del 5 al 20 %) son comparables en todos los suelos, no ocurre lo mismo con las características de la materia orgánica que difieren según la altitud.

En el caso de los suelos ubicados a más de 3.000 m, las tasas de materia orgánica son elevadas (superiores al 10 %) en todo el perfil, la relación C/N también es alta y las cantidades de ácidos húmicos son siempre superiores o iguales a las de ácidos fúlvicos.

En los suelos ubicados a menor altitud, las cantidades de materia orgánica sólo son elevadas en el horizonte superior y disminuyen notablemente en los horizontes subyacentes. La relación C/N está comprendida entre 10 y 13 y las cantidades de ácidos húmicos se vuelven progresivamente inferiores a las de ácidos fúlvicos.

Andosoles desaturados perhidratados (con capacidad de retención de agua superior al 100 %)

Así como en los suelos anteriores, la temperatura del suelo de 13° puede ser considerada como un límite entre 2 subconjuntos.

Los suelos con temperatura superior a 13°: C 34

Están ubicados en las regiones más húmedas, tales como las primeras estribaciones amazónicas así como las vertientes externas orientales de los Andes. También se encuentran en el noreste de la provincia de Esmeraldas en donde las precipitaciones alcanzan 6.000 mm. En esta región, los suelos, más arenosos, parecen más jóvenes. Podrían haberse formado a partir de depósitos muy recientes provenientes de volcanes ubicados en Colombia.

Morfología

En los relieves suavemente ondulados de la región del Puyo, los suelos son gruesos, de cerca de 2 m. Son humíferos, muy ricos en materia orgánica (25 %), pardo negros (10YR2/2) en unos veinte centímetros, muy untuosos y muy húmedos en todo el perfil.

El color se vuelve luego pardo amarillo (10YR3/2,5) después amarillo (10YR5/6) aunque con cantidades elevadas de materia orgánica (10 al 11 %). La textura es franca y los suelos siguen siendo untuosos al tacto.

Debajo, se observa a menudo un nivel arcilloso blanco, muy rico en halloysita.

La reacción al fluoruro de sodio es muy fuerte en todo el perfil, con excepción del nivel blanco.

Características analíticas

La densidad aparente es muy baja, de 0,2 a 0,4; las cantidades de agua en el suelo in situ, cercanas a las que se obtienen a pF3 en suelo húmedo, siempre son muy elevadas: por lo general superiores al 200 %, alcanzando a veces los 300 %.

El pH, bajo en superficie, aumenta en profundidad y es ligeramente inferior a 6 en todo el resto del perfil. Las cantidades de bases intercambiables son muy bajas (inferiores o iguales a 0,3 me/100g) y la tasa de saturación del complejo absorbente también (inferior o igual al 1 %).

Todo el perfil es rico en productos amorfos. En todos los horizontes se identificó gibsita pero sus cantidades aumentan en profundidad sobre todo en el nivel blanco con halloysita.

Los suelos con temperatura inferior a 13°: C 35

Ocupan los páramos que rodean a la cuenca de Cuenca. Contrariamente a los suelos anteriores, cuyo grado de meteorización se debe a la abundancia de las precipitaciones, en estos suelos, la fuerte alteración de las cenizas se debe a la fineza de los materiales originales, debida al alejamiento de los centros de emisión.

Morfología

En la mayoría de los casos, los suelos son poco profundos (40 a 50 cm). Son negros, muy untuosos por ser ricos en agua y en materia orgánica. Las altas tasas correspondientes (siempre superiores al 30 %) tornan difícil la apreciación de la textura. La reacción al fluoruro de sodio es siempre muy fuerte.

Los suelos descansan tanto sobre materiales glaciares transformados como sobre rocas limpiadas por los glaciares.

Características analíticas

Los resultados del análisis granulométrico son poco confiables ya que la dispersión es muy mala. La densidad aparente es muy baja, de 0,2 a 0,3. Las cantidades de agua son muy elevadas, muchas veces superiores al 200 %.

El pH es muy bajo (4,6 en superficie; 4,9 en profundidad). Las bases intercambiables y la tasa de saturación también lo son.

Las importantes cantidades de materias orgánicas permitirían considerar a estos suelos como suelos orgánicos y no como Andosoles. La relación C/N es elevada y los ácidos húmicos más abundantes que los ácidos fúlvicos (Cuadro 11).

Cuadro 11. Características físico-químicas de los Andosoles desaturados, típicos y perhidratados

Andosoles desaturados típicos, capacidad de retención de agua inferior al 100%

Temp. suelo	Suelo (perfil)	alt. (m)	prof. (cm)	color	Textura (%)			d.a.	pF3	pH	B.I. me	V %	M.O. %	C/N
					A	L	S							
Sup. a 13°	C32 (502)	2.000	0-15	10YR3/2	37,9	39,9	22,2	-	52	6,0	4,9	11	12,0	10,9
			60-70	10YR5/6	16,9	71,9	11,2	0,67	86	6,2	6,7	17	4,6	10,1
			105-120	10YR5/8	9,6	77,9	12,5	0,41	112	6,3	4,2	10	4,4	9
13°	C32 (540)	1.480	0-10	10YR3/3	19,7	41,9	38,2	0,78	34	6,0	12	30	11,8	7,5
			25-40	10YR3/3	17,2	42,1	0,6	0,95	32	6,0	3,7	16	6,3	12,7
			55-65	10YR3/2	12,5	30,6	56,9	1,11	31	6,1	3,8	13	7,2	13
Inf. a 13°	C33 (500)	3.600	0-20	10YR2/1	25,2	46,8	28,0	0,67	68	5,2	2,0	5	16,0	15,2
			50-70	10YR3/2	25,4	45,2	29,3	0,65	67	6,0	1,6	6	10,3	14,4
			90-120	10YR2/1	12,3	69,6	18,2	0,53	101	5,6	2,6	5	13,2	16,1
13°	C33 (545)	3.770	0-10	2/0	10,7	40,1	49,2	0,77	44	6,0	4,0	15	13,5	15,1
			40-50	10YR2/1	17,1	30,4	52,5	0,74	50	5,8	2,9	11	10,9	14,7
			70-80	2/0	14,8	23,1	62,0	0,86	44	5,8	3,1	15	10,4	14,3

Andosoles desaturados perhidratados, capacidad de retención de agua superior al 100%

Sup. a 13°	C34 (488)	1.130	0-10	5YR2,5/2	33,7	57,4	8,9	0,30	189	4,6	1,9	3	28	18,4
			30-50	10YR3/2,5	25,5	65,7	8,7	0,47	182	5,9	0,2	1	11	12,3
			100-120	10YR5/6	49	45,2	5,8	0,22	253	5,8	0,07	≤1	10,7	13,5
Inf. a 13°	C35 (522)	3.900	0-10	2/0	36,2	61,7	2,1	0,23	228	4,6	5,4	6	55	15,8
			30-40	2/0	49,5	45,7	4,8	0,34	174	4,9	1,0	1	36	22,3

5. LOS SUELOS SOBRE ROCAS ANTIGUAS: S

Los suelos sobre rocas antiguas cubren más o menos los 2/3 del Ecuador continental. Constituyen la mayor parte de la Amazonía peri-andina y de la zona costanera así como el tercio meridional de la región andina.

El término rocas antiguas reúne rocas muy diferentes: sedimentarias, metamórficas y eruptivas. La variedad de los suelos formados sobre rocas antiguas se explica por la multiplicidad de las condiciones pedogenéticas que resultan de la variedad de los climas, de las rocas madres y de las situaciones topográficas.

5.1. LOS FACTORES DE LA PEDOGÉNESIS

5.1.1. El clima

Debido a las variaciones de las temperaturas y de las precipitaciones, sobre todo según la altitud, el clima constituye seguramente el principal responsable de la diversidad de los suelos, cuya repartición está por lo general organizada en climo-secuencias.

Las precipitaciones

La evolución de las características edafológicas según una secuencia climática en la cual las precipitaciones aumentan regularmente, se resume en el cuadro 12. Con el objeto de evaluar más adecuadamente solo la influencia de las precipitaciones, los valores de las características indicadas corresponden a suelos desarrollados en rocas madres sedimentarias muy parecidas y en posiciones topográficas similares.

Son sobre todo los valores del pH, de la suma de las bases intercambiables y de la tasa de saturación los que varían más regularmente con el aumento de las precipitaciones. Estos valores disminuyen a medida que aumentan las precipitaciones.

Las cantidades de hierro libre son inferiores o iguales al 3 % en el caso de los suelos de las regiones más secas y superiores a este valor tratándose de los suelos de las regiones muy húmedas.

El índice de KAMPRATH 100 (A1/A1+S) es elevado sólo en los suelos desaturados, sean estos ferralíticos o pseudo-ferralíticos (Cuadro 12)

Cuadro 12. Evolución de las características de los suelos en función del clima.

precipitación (mm)	100	500 a 600	1000 a 1200	5000
duración estac. seca	12	10	8	0
rég. hídrico del suelo	arídico	ústico	údico	perúdico

Características morfológicas

color	amarillo 10YR			aparición rojizo	rojizo y amarillo vivos	
profundidad	poco a medianamente profundo				profundo	muy profundo
particularidades	CaCO ₃ en el perf. yeso	CaCO ₃ en profundid.	sin CaCO ₃	sin caracter. vérticas		
					presencia de capa lixiviada	

Características analíticas

pH	> 7 aumenta en profundid.	< 7 en superfic. > 7 en profundid.	< 7 disminuye en profundid.	6-7	5,7-6,5	5,8-6,5	4-5,5
BI en el "B" me/100g	45-55	35-50	25-40	30-40	15-20 a 40cm 30-32 a 90cm	7-12	inferiores a 4
CIC me/100g	más o menos igual a la suma de bases intercambiables			30-45	35 a 80cm	10-12	10-15 o 30-50
saturación %	saturados			80-100	85-90	40-70	inferior a 10
Fe libre	< 3			1,5-3	cerca de 3	3,5-5	5-7,5
Fe libre/Fe total	< 0,4			< 0,4	0,4-0,6	0,5-0,7	0,5-0,9
100A/(A+S)	-			-	< 1	1-4	> 30 > 90
mineralogía	montmorillonita muy bien cristalizada			montmorillonita	metahalloysita en cima, montmorillonita debajo del perfil	metahalloysita halloysita kaolinita hematita trazas de gibsit.	metahalloysita halloysita kaolinita hematita, goelita, gibsita o montmorillonita
M.O. %	1-3	2-4	5-6	5-5,5	4-6	2,5-6	4 y más
suelos	S 41	S 42	S 44	S 54	S 64	S 72	S 81 a 85 S 87-88
	vérticos			"bruns"	ferralíticos	ferralíticos saturados	ferralíticos pseudo-ferralíticos desaturados

La temperatura

La influencia pedogenética de las temperaturas, cuya media anual es una función lineal inversa a la altitud (de más de 20° en las regiones bajas tales como la Amazonía y la zona costanera, pasa a menos de 10° al nivel de los páramos), es difícilmente dissociable de la influencia de las precipitaciones que varían también, pero según una ley diferente (de cero a 2.000 m de altitud aumentan, y luego disminuyen).

Una de las consecuencias más evidentes de la disminución de la temperatura es, al igual que en los suelos sobre cenizas, la acumulación de la materia orgánica. Por otra parte, a igual altitud, esta última es más abundante en los páramos orientales, más húmedos, que en los páramos occidentales.

Considerando que la velocidad de las reacciones químicas disminuye con las temperaturas, deberíamos observar suelos menos evolucionados en las zonas más frías pero, debido al aumento de las precipitaciones, ocurre de otra manera y algunos suelos, entre los más evolucionados, ferralíticos, se encuentran en posición cimera. Sin embargo, es probable que estos suelos, que se observan en el Sur de los Andes, se hayan formado bajo climas más húmedos y más calientes que los actuales.

5.1.2. La roca madre

La influencia pedogenética de la roca madre es poco perceptible en condiciones de agresividad climática extrema: las de fuerte aridez que bloquean el desarrollo de los suelos y las de gran humedad que empujan su evolución hacia términos últimos cuyos productos se volverán más uniformes mientras más larga haya sido tal evolución.

En el caso de suelos relativamente jóvenes, formados en condiciones climáticas moderadamente agresivas, la diversidad de las rocas madres tiende a influir en forma más perceptible la pedogénesis y a romper el determinismo de las climo-secuencias.

Podemos recordar que con iguales condiciones climáticas y topográficas, la roca madre determina o influye en:

° la textura de los suelos: algunos suelos provenientes de conglomerados son, en una primera fase de evolución por lo menos, arcillo-pedregosos; los suelos sobre granito son arcillo-arenosos; sobre ciertas areniscas son arenosos y sobre ciertas rocas volcánicas no son cuarzosos, sino no-arenosos;

° la composición química: las cantidades de elementos totales y asimilables, así como las cantidades de óxidos de hierro y de aluminio, y por lo tanto el color, dependen directamente de la composición de las rocas;

° la constitución mineralógica: así es como las rocas sedimentarias ricas en materiales de origen volcánico evolucionan generalmente hacia suelos halloysíticos; en la región costanera, los suelos sobre arcillas sedimentarias heredan montmorillonita mientras que los suelos sobre esquistos heredan metahalloysita. Finalmente, en la región amazónica, algunas rocas sedimentarias consideradas globalmente como pelitas, son originalmente tan ricas en arcillas 2/1, que éstas subsisten, aun cuando la zona está sometida a las más agresivas condiciones climáticas. Los suelos presentan además las características morfológicas y físico-químicas de los suelos ferralíticos muy fuertemente ácidos y desaturados: se trata de suelos "pseudo-ferralíticos" que pueden ser considerados como una variedad tropical de los pelosoles.

5.1.3. La topografía

El rejuvenecimiento de los suelos por erosión es más importante cuando la pendiente es más fuerte. Con pendientes iguales, los suelos son más erosionados al ser el clima más seco. Es así como los "suelos poco evolucionados de erosión" aparecen sobre pendientes débiles con clima árido, mientras que bajo clima húmedo sólo están presentes en pendientes relativamente fuertes.

En algunos casos, la topografía desempeña un papel determinante en la pedogénesis: bajo clima tropical con estaciones contrastadas, una topografía plana favorece el proceso de planosolización.

La topografía, así como la roca madre, tienden a romper la regularidad de las climo-secuencias.

5.2. LOS SUELOS POCO EVOLUCIONADOS: S1

Son suelos en los cuales los procesos erosivos vencen a los procesos de pedogénesis. Por lo tanto, se caracterizan por un perfil poco espeso, muchas veces inferior a 10 cm y por el afloramiento frecuente de rocas del substrato. En las zonas más secas, en donde la erosión es frecuentemente fuerte, se encuentran sobre relieves relativamente suaves, mientras que en zona más húmeda en donde la pedogénesis es más intensa, sólo están presentes en los relieves fuertes.

En la clasificación francesa son principalmente "suelos poco evolucionados de erosión, no climáticos", aunque el clima, conjuntamente con la topografía, sean la causa de su existencia. En la Soil Taxonomy corresponden casi exclusivamente al orden de los Entisols.

Según el color, los valores del pH y las cantidades de materia orgánica de los suelos, se pueden distinguir varios conjuntos.

- Los suelos amarillentos con pH superior o igual a 7

En clima muy seco y árido, las cantidades de materia orgánica son muy bajas, muchas veces inferiores al 1 % (S11).

En clima seco, estas cantidades son un poco más elevadas pero siguen siendo bajas (S12).

En ambos casos, las cantidades de bases intercambiables son altas, superiores a 40 me/100 g de suelo.

- Los suelos amarillos a pardo-amarillentos, con pH ligeramente inferior a 7, de las zonas húmedas.

Pueden ser poco húmíferos (S13), húmíferos (S14), con contenidos de materia orgánica superiores al 5 % y cantidades de bases intercambiables comprendidas entre 10 y 40 me/100 g, hasta muy húmíferos: es el caso de los Rankers cuyo contenido de materia orgánica se eleva a más del 10 % bajo el efecto de una fuerte humedad muchas veces relacionada con la altitud (S15).

- Los suelos rojizos (S16)

Deben su color a la presencia de óxidos de hierro. La relación hierro libre/hierro total es cercana a 0,3, el pH se aproxima a 6. Están ubicados en zona seca sobre rocas metamórficas o volcánicas. Corresponden a un facies erosionado de los suelos fersialíticos, a los cuales están frecuentemente asociados cuando el relieve es más suave.

5.3. LOS PLANOSOLES: S 2

Se caracterizan por una discontinuidad textural brutal a poca profundidad (entre 10 y 50 cm); el contacto entre el horizonte superior empobrecido en arcilla y el horizonte textural subyacente, más arcilloso, es llamado "plánico".

Están ubicados en zonas climáticas en donde la alternancia de las estaciones secas y húmedas favorece el proceso de ferrolisis, en relieves llanos o suavemente ondulados.

La originalidad de su morfología y de los procesos que los crean justifica su clasificación en un grupo específico creado en la leyenda F.A.O. En las clasificaciones francesa y americana, estos suelos, según los casos, se dividen en diferentes clases u órdenes.

Morfología

En el Ecuador, la presencia de horizontes vérticos así como la naturaleza más o menos friable del horizonte textural permiten distinguir tres conjuntos.

- *Los suelos con características vérticas en profundidad cuyo horizonte textural es macizo en su parte superior (S 21)*

Bajo un horizonte húmífero franco, friable, se encuentra un horizonte blanco muy friable y poroso, con algunas pequeñas manchas pardas redondas, a veces ligeramente endurecidas.

En profundidad, a este horizonte álbico le sigue un horizonte aún franco, pero un poco más pardo con numerosos gránulos blancos. Es ligeramente más estructurado y pasa bruscamente al horizonte textural que es húmífero, muy arcilloso, macizo con algunas grietas de contracción que delimitan una ancha estructura prismática en estación seca. En profundidad, el color se aclara, la textura se vuelve un poco más arcillosa; la estructura es maciza, pudiendo algunas superficies brillantes ser asimiladas a "slickensides".

- *Los suelos con características vérticas en profundidad cuyo horizonte textural es friable en su parte superior (S 22).*

Se diferencian de los anteriores por una muy fuerte estructura de la parte superior del horizonte textural: los elementos estructurales son prismáticos finos (1 cm de ancho), excesivamente duros pero muy poco coherentes entre sí, lo que confiere al conjunto del horizonte una gran friabilidad.

Están ubicados en climas áridos y la acumulación del carbonato de calcio, generalizada en el horizonte textural, aumenta en profundidad.

- *Los suelos sin características vérticas en profundidad (S 23).*

Están localizados sobre formaciones sedimentarias mucho más arenosas y se diferencian, por lo tanto, de los anteriores esencialmente por su textura. Además, al parecer la planosolización, provocada por la aridez del clima, no es actual. Sin embargo, la erosión, importante pese al bajo porcentaje de las pendientes, es particularmente activa. El horizonte empobrecido es, por lo tanto, de poco espesor (5 a 10 cm, a veces menos) y es poco o nada húmífero. El horizonte textural subyacente es pardo oscuro, arcilloso; presenta una estructura poliédrica angular fina y clara y algunas acumulaciones de carbonato de calcio bajo la forma de manchas blancas. En profundidad, la textura se vuelve arenosa y aumentan las acumulaciones de carbonato (Cuadro 13).

Cuadro 13. Características físico-químicas de los planosoles.

suelo	régimen hídrico	hor.	prof. cm	textura		pH	B.I. me	Na total	CIC	C ‰	N ‰	CO ₃ Ca ‰
				A‰	LF‰							
S 21	ústico	A	0-10	26,4	36,3	6,0	0,4	19,4	20	24,6	2,64	-
			35-45	21,2	43	6,8	0,85	11,3	15	0,85	0,46	-
		B	60-75	62,7	20,2	7,1	13,0	39,1	33	1,52	0,66	11,8
			115-125	68,9	17,6	7,3	16,7	44,6	31	1,42	0,53	6,3
S 22	arídico	A	0-10	15,0	35,8	6,9	0,3	19,3	19	16,6	1,84	-
			30-35	9,8	39,4	7,8	0,6	8,9	11	1,4	0,32	11,2
		B	55-65	47,1	18,7	8,1	12,5	46,2	38	2,1	0,26	22,5
			100-110	46,6	21,8	8,6	26,9	77,6	36	0,63	0,13	117,5
S 23	arídico	A	0-6	6,7	6,8	7,2	0,75	5,8	8	1,76	0,23	-
			6-20	37,7	9,9	8,4	13,3	36,4	14	2,55	0,29	39,3
		B	60-70	14,0	7,2	8,0	16,4	28,1	21	0,29	0,15	33,9
			100-110	2,2	3,7	7,9	13,76	23,2	19	0,26	0,09	30,9

El aumento de las cantidades de arcilla de los horizontes empobrecidos a los horizontes texturales es siempre importante. El análisis con rayos X confirma el fenómeno de destrucción de las arcillas en los horizontes empobrecidos que se caracterizan por la presencia de productos amorfos mientras que los horizontes texturales se caracterizan por la presencia de minerales arcillosos montmorilloníticos. En los suelos no vérticos (S 23) la disminución de las cantidades de arcilla en profundidad es muy clara.

El pH y los contenidos de carbonato de calcio aumentan en profundidad, sus valores aumentan más aún a medida que el pedo-clima es más seco. Las cantidades de sodio también se incrementan con la profundidad.

Las cantidades de materia orgánica, más altas en los suelos de las regiones secas que en los de las regiones áridas, siempre pasan por un mínimo en el horizonte empobrecido antes de aumentar en la parte superior del horizonte textural.

5.4. LOS SUELOS CON CARÁCTER MÓLICO: S 3

Los suelos agrupados en esta categoría se caracterizan por un horizonte humífero cuyas propiedades son las del epipedón mólico definido en la Soil Taxonomy. Por lo tanto, son horizontes humíferos de color oscuro por ser ricos en materia orgánica. Su espesor es importante en relación con el de los horizontes subyacentes. Son friables y presentan un grado de saturación del complejo absorbente superior al 50 %.

En la Soil Taxonomy, estos suelos pertenecen, por lo tanto, al orden de los Mollisols, mientras que en la clasificación francesa entran en la clase de los suelos isohúmicos pero también en otras clases como la de los suelos calcimagnésicos.

Sus propiedades dependen de la naturaleza del substrato pero, sobre todo, de su pedo-clima.

Morfología

Los suelos con pedo-clima húmedo (régimen údico)

Los suelos profundos arcillo-limosos (S 31)

El horizonte humífero, de pardo a pardo oscuro (10 YR 3/2), es grueso (60 a 80 cm). La estructura, poliédrica fina subangular, es muy clara en los 30 primeros centímetros, un poco menos en profundidad.

Después de este horizonte franco a franco-arcilloso, sigue un horizonte más amarillo, y más arcilloso, siempre bien estructurado, cuyo espesor alcanza de 50 a 60 cm.

Estos suelos están localizados sobre superficies estructurales areniscas más o menos bien conservadas de las regiones húmedas.

Los suelos medianamente profundos de francos a arcillosos (S 32)

Están ubicados sobre relieves derivados de las mesas areniscosas más o menos destruidas; son relieves muchas veces fuertes, en la superficie de los cuales el coluvionamiento es general. Las características morfológicas de los perfiles son por lo tanto extremadamente variables.

En relación con los suelos anteriores, la profundidad es menor, el epipedón es menos grueso, la textura es muy heterogénea: en los suelos menos profundos es muchas veces franca, más arcillosa en los suelos de mayor espesor, sobre todo en la parte baja del perfil, mientras que los horizontes superiores están empobrecidos. La estructuración está siempre bien desarrollada.

Los suelos arcillo-pedregosos (S 33)

Se desarrollaron en pequeñas cuencas sedimentarias en donde la naturaleza conglomerática del substrato explica su textura. El porcentaje de piedras puede alcanzar, del 50 al 60 % del volumen total.

Los suelos con pedo-clima seco (régimen ústico)

Están ubicados sobre formaciones sedimentarias de arcillosas a arcillo-areniscosas. Su morfología depende esencialmente de su posición topográfica así como de la naturaleza del substrato.

Los suelos arcillosos profundos (S 34)

Están ubicados en la parte cimera de vestigios de superficies estructurales.

Los suelos son profundos con un horizonte humífero grueso (40 a 50 cm).

La textura, arcillosa en superficie, se vuelve más franca en profundidad.

La estructura es siempre muy fuerte en el horizonte humífero, pero sigue siendo cerrada lo que lo vuelve coherente. En profundidad, el grado de estructuración disminuye.

El carbonato de calcio aparece debajo del epipedón y aumenta en profundidad.

Los suelos medianamente profundos (S 35)

Están ubicados en las partes inferiores de las vertientes con fuertes pendientes de las colinas de arcilla calcárea.

Se caracterizan por un epipedón no calcáreo, arcilloso, con amplia estructura poliédrica subangular. Los elementos estructurales son duros pero porosos; se desmenuzan en finos gránulos.

El epipedón es remplazado por un horizonte blancuzco por ser muy rico en carbonato de calcio, más o menos coluvionado, con numerosos residuos de arcilla original, maciza pero friable.

La arcilla original poco alterada, verduzca, está cubierta por una fina capa de carbonato de calcio.

Son típicamente "suelos pardos cálcicos".

Características analíticas

El análisis granulométrico muestra el aumento de las cantidades de arcilla en profundidad en los suelos con pedo-clima húmedo. En los suelos S 31, tal aumento corresponde, sobre todo, a una lixiviación vertical de arcilla, mientras que en los suelos S 32 el fenómeno se debe sobre todo a un empobrecimiento de los horizontes de superficie por lixiviación oblicua (Cuadro 14).

Los valores del pH son más elevados en los suelos con pedo-clima seco (superiores a 7 en profundidad) que en los suelos con pedo-clima húmedo. Sucede lo mismo con los valores de la tasa de saturación. Las diferencias observadas entre los valores de las capacidades de intercambio de los suelos con régimen ústico (10 a 17) y aquellas de los suelos con régimen ústico (33 a 40) se deben, sobre todo, a diferencias mineralógicas; los suelos de las regiones secas están

Cuadro 14. Características físico-químicas de los suelos con carácter mólico

suelo	régimen hídrico	hor.	prof.	textura		pH	BI	CIC	V %	C %	N ‰	CO ₃ Ca ‰
				A %	L %							
S 31	údic	A	0- 20	25,4	33,7	6,8	13,2	28	47	21,0	2,36	-
			40- 60	26,4	37,9	6,9	9,0	11	82	6,3	0,70	30
		B	90-100	33,1	39,1	6,7	10,0	10	100	1,1	0,36	-
S 32	údic	A	0- 20	23,3	44,7	6,5	16,5	22,8	73	25,9	0,31	-
		B	50- 70	30,0	42,0	6,6	16,3	20,8	78	0,4	0,06	37
S 34	ústico	A	0- 10	38,8	34,0	6,9	32,2	34,0	95	28,5	3,15	-
			60- 70	36,8	43,0	7,0	37,2	36,0	100	2,16	0,39	-
		B	85- 95	18,6	50,0	7,1	37,6	45,0	84	1,7	0,41	5,8
S 35	ústico	A	0- 10	53,2	29,3	7,5	39,7	45,0	88	13,2	2,1	-
		B	50- 60	42,8	34,2	7,1	39,1	41,0	95	3,35	0,76	19

esencialmente compuestos por montmorillonita, mientras que en las regiones húmedas, los minerales 1/1, al igual que los minerales 2/1 están presentes en la fracción arcillosa de los suelos.

Las cantidades de materia orgánica son medianas (2,3 a 4,5 %) en el conjunto de los suelos. Son apenas un poco más elevadas en los suelos de las regiones húmedas que en los de las regiones secas.

5.5. LOS SUELOS VÉRTICOS Y VERTISOLES: S 4

Se caracterizan por una estructura maciza en estado húmedo, prismática ancha en estado seco, estando los prismas delimitados por importantes grietas de contracción y por cantidades de arcilla de tipo montmorillonítico superiores al 35 %.

Taxonómicamente, se reagrupan en los Vertisoles y, más frecuentemente, en subunidades vérticas de otros órdenes o clases.

La mayoría son suelos litomorfos y crómicos desarrollados sobre rocas sedimentarias antiguas.

Si bien la pendiente es un factor determinante en cuanto al espesor del perfil, es esencialmente el clima el responsable de las demás variaciones observadas, tanto físico-químicas como morfológicas.

Morfología

Los Vertisoles con pedo-clima muy seco (régimen arídico): S 41

Se caracterizan por:

Un horizonte A humífero amarillo pardo de 10 a 20 cm de espesor, arcilloso. La estructura es gruesa, son bloques de 5 a 10 cm de ancho que se disgregan, casi siempre, en finos gránulos de 1 a 2 mm.

Un horizonte B poco humífero con una estructura más ancha de bloques prismáticos de 20 a 30 cm.

Un horizonte BC más macizo, que presenta a menudo pequeñas manchas de óxido gris azulado testimonio de un hidromorfismo temporal.

La presencia de carbonato de calcio desde el horizonte B es casi general; la de yeso es característica de los materiales originales más arcillosos.

La profundidad del suelo depende de la pendiente. En pendientes superiores al 25 %, el horizonte C aparece a menos de 50 cm.

Los Vertisoles con pedo-clima seco (régimen ústico)

En relación con los suelos anteriores, el horizonte humífero es más grueso, a menudo más oscuro. No existen cristales de yeso en el suelo y el carbonato de calcio sólo está presente en las partes profundas del perfil.

El espesor también es mayor, la aparición del horizonte C a menos de 50 cm de profundidad sólo es visible en pendientes superiores al 40 %.

En formaciones sedimentarias arcillosas y areniscosas antiguas, los suelos son profundamente arcillosos (S 42). Sin embargo, sobre las formaciones cuaternarias de la formación "Balzar", los suelos (S 43) son más arenosos, localmente poco profundos, aun sobre pendientes suaves, debido a la presencia de estratos arenosos en el material original.

Los Vertisoles con pedo-clima húmedo (régimen údico): S 44

Se distinguen de los anteriores por la ausencia de carbonato de calcio en el perfil y la presencia de claros caracteres hidromórficos en profundidad.

Están ubicados en zonas con clima contrastado que reciben una pluviometría anual media de 1.300 a 1.500 mm.

Características analíticas comparativas

El aumento de los contenidos de arcilla en el horizonte B de los suelos S 42 y S 44 no corresponde a una lixiviación que se pueda descubrir en el perfil, pero es probable que ésta exista por lo menos para los suelos S 44, ya que en regiones más regadas, estos pasan a ser, progresivamente, suelos ferruginosos lixiviados (Cuadro 15).

Cuadro 15. Características físico-químicas de los suelos vérticos

suelo	régimen hídrico	hor.	textura		pH	BI	V %	CO ₃ Ca ‰	SO ₄	C ‰
			A‰	L‰						
S 41	arídico	A	43	26,1	7,8	41,7	sat.	65,6	-	4,2
		B	43	29,5	8,7	47,4	"	80,9	-	2,04
		BC	38	39,2	8,0	76,9	"	49,7	63,3	0,04
S 42	ústico	A	46	32,8	7,3	31,3	76	-	-	11,6
		B	54	26,1	7,6	46,6	sat.	24	-	2,2
S 44	údico	A	39	44,9	6,8	38,7	95	-	-	30,2
		B	46	36,9	6,5	38,1	sat.	-	-	12,2
		BC	30	54,7	6,6	35,8	"	-	-	8,1

Las cantidades de carbonato de calcio y de ion sulfato corresponden perfectamente a las observaciones de campo. La baja de los valores del pH en los suelos de las regiones más secas en comparación con los de las regiones más húmedas es progresiva, al igual que el aumento de las cantidades de materia orgánica en función del incremento de las precipitaciones.

Al contrario, la tasa de saturación, es por lo general cercana a 100 para todos los suelos, aunque baje en la parte superior de algunos suelos de las regiones más húmedas.

5.6. LOS SUELOS PARDOS: S 5

Son suelos con perfil A(B)C o ABC, por lo general amarillentos. El horizonte humífero nunca es muy grueso, a menudo de espesor inferior a 15 cm y la transición al horizonte subyacente es brusca, lo que los diferencia muy claramente de los suelos isohúmicos.

La presencia de un horizonte B2 es frecuente debido a la lixiviación de la arcilla.

Los minerales arcillosos son de tipo montmorillonítico pero los suelos sólo poseen pocas características vérticas o ninguna.

La relación hierro libre/hierro total es siempre inferior a 0,4.

Se establecieron diferentes categorías según las características analíticas de los suelos, en particular la textura.

Los suelos con dominante arenosa: S 51

Están ubicados en regiones muy secas, sobre formaciones sedimentarias arenosas. Se observan sobre todo en pendientes aún débiles en las cuales la erosión limita el desarrollo del perfil. Son bastante parecidos a los "suelos

poco evolucionados de erosión”, con los cuales, además, están asociados en el paisaje, pero se distinguen de ellos por la presencia de un horizonte textural (B). La presencia de carbonato de calcio bajo la forma de micelio es frecuente: sus contenidos aumentan en profundidad. El pH es siempre superior a 7. El complejo absorbente está saturado.

Son suelos "Bruns" en la clasificación francesa. La presencia de un horizonte cámbico con ausencia de epipedón mólico conduce a clasificarlos como Ustropept u Orthid en el sistema USDA.

Los suelos con textura franca: S 52

Están ubicados en regiones secas (con régimen ústico), sobre limolitas cuando la pendiente es importante (superior al 20 %). En cuanto la pendiente se suaviza, por profundización del perfil y arcillificación más intensa, los suelos se vuelven vérticos.

Las cantidades de arcilla son inferiores al 25 % en el horizonte humífero, y disminuyen en profundidad. El pH es por lo general superior a 7 y el complejo absorbente se aproxima a la saturación. El carbonato de calcio está presente en el horizonte C.

Las cantidades de hierro libre están comprendidas entre 1 y 1,5 %.

Fueron a menudo clasificados como suelos pardos cálcicos. En la Soil Taxonomy son Inceptisols (Ustropepts) típicos.

Los suelos con textura arcillosa

Se pueden observar algunos en región seca, bajo régimen ústico (S 53). Difieren poco de los anteriores a no ser por el hecho de tener cantidades de arcilla más elevadas, del 40 al 45 % en el A y en el (B) y por un grado de estructuración más fuerte: estructura poliédrica angular media en el horizonte humífero, fina en el (B).

También se pueden observar algunos en región húmeda, (S 54), bajo régimen údico. Nunca presentan acumulación de carbonato de calcio en su perfil y su pH es ligeramente ácido (6,3 a 6,6). Sin embargo, la tasa de saturación del complejo absorbente sigue siendo máxima. La lixiviación de la arcilla en los perfiles no es general pero sí frecuente. Se acompañan morfológicamente de una estructura más continua en el horizonte lixiviado, mientras que el horizonte de acumulación posee siempre una estructura poliédrica fina muy clara. Estos suelos lixiviados son suelos "Bruns tropicaux lessivés", en la clasificación francesa, y Alfisols, en la Soil Taxonomy.

5.7. LOS SUELOS FERSIALÍTICOS: S 6

Son suelos arcillosos relativamente poco profundos; la zona de alteración aparece muchas veces a menos de un metro. En su mayoría, los minerales arcillosos son de tipo 2/1 pero los de tipo 1/1 aparecen ya sea en la cima del perfil, o sea sobre algunos materiales originales, en todos los horizontes. Los hidróxidos de hierro tales como goetita, pero sobre todo hematites, pueden detectarse con rayos X. En relación con los suelos anteriores, las cantidades de hierro libre son más elevadas, la relación hierro libre/hierro total está comprendida entre 0,4 y 0,6. La relación $100 \text{ Al}/\text{Al}+\text{S}$ es inferior a 1. El pH es ligeramente ácido (6-6,5) y la tasa de saturación es siempre superior al 50 %.

El clima en el cual se encuentran pero, sobre todo, la naturaleza del substrato a partir del cual se formaron, les confieren características muy diferentes.

Los suelos rojos ricos en pseudo-arenas

Se observan en la región costanera bajo climas secos (precipitaciones entre 600 y 800 mm) hasta muy secos (menos de 500 mm).

- Sobre colinas formadas a partir de rocas volcánicas, volcano-sedimentarias o esquistos, los suelos (S 61) son poco profundos, inferiores a 50-60 cm.

El horizonte humífero de unos diez centímetros de espesor es relativamente rico en materia orgánica (4 al 5 %); el horizonte subyacente es rojo vivo (2,5 YR), existe una estructura clara de elementos poliédricos finos que se deshacen en gránulos muy finos. El paso a la roca madre es siempre brusco.

La tasa de saturación del complejo absorbente está comprendida entre 65 y 90 %.

Las cantidades de hierro libre son elevadas (5 a 7 %); sobre esquistos, la relación hierro libre/hierro total puede superar 0,6.

Los minerales arcillosos están representados por una mezcla de illita, vermiculita y metahalloysita; los óxidos de hierro, por el hematita.

- Sobre "glacís", los suelos (S 62) difieren poco de los anteriores desde el punto de vista de las características físico-químicas y mineralógicas. Sin embargo, su textura es arcillo-pedregosa, debido a la naturaleza del sustrato. Los suelos son muchas veces lixiviados y más profundos.

Los suelos de amarillos a rojizos arcillosos

Se observan en climas más húmedos (régimen údico). Pueden ser lixiviados.

Los suelos poco o nada lixiviados: S 63

Son suelos arcillosos de amarillos a rojizos, medianamente profundos, desarrollados sobre rocas volcánicas o metamórficas. La estructura del horizonte B es siempre clara (poliédrica fina) pero cerrada. Los indicios de lixiviación son escasos y hasta pueden ser inexistentes.

Mineralógicamente se caracterizan por una mezcla de arcilla 2/1 y 1/1 y por la presencia de hematites.

Las cantidades de hierro libre son elevadas (5 al 8 %); el pH es superior a 6 y la tasa de saturación está comprendida entre el 60 y el 75 %.

Los suelos lixiviados: S 64

Son amarillos, medianamente profundos, formados a partir de rocas sedimentarias arcillosas y arcillo-areniscas.

El horizonte humífero es poco espeso pero con bastante materia orgánica (5 al 6 %).

El horizonte lixiviado (A2), de 20 a 30 cm de espesor, presenta algunas manchas pequeñas puntuales de hidromorfismo. Sus contenidos de arcilla son del 25 al 30 %.

El horizonte B, muy arcilloso (60 %), es macizo y está muy marcado por la hidromorfismo. Pueden presentarse algunos caracteres vérticos.

Los minerales arcillosos son de tipo montmorillonítico en los horizontes profundos, de tipo metahalloysítico en los horizontes de superficie (A2) y principio del (B).

El pH es más bajo que en el caso de los suelos anteriores: 5,2 en superficie. Aumenta en el B (5,7 a 6,1) para volver a bajar en profundidad (5,3 hasta 4,9 en el C). La diferencia entre los pH agua y KC1 puede alcanzar 1,5 unidad pH.

La tasa de saturación, cercana al 50 % en los horizontes A y A2, aumenta en profundidad en donde alcanza valores del 85 al 95%.

Las cantidades de hierro libre son menos elevadas que en el caso de los suelos anteriores (2 al 3 % en el B), pero la relación hierro libre/hierro total igualmente está comprendida entre 0,4 y 0,6.

En la clasificación francesa, estos suelos corresponden bastante bien a suelos "Ferrugineux hydromorphes". En el sistema USDA son Tropudalfs.

5.8. LOS SUELOS FERRALÍTICOS Y SEUDO-FERRALÍTICOS

Estos suelos con colores vivos, profundos, están encima de rocas muy alteradas, en las cuales la lixiviación del silicio tiende a provocar la síntesis de minerales arcillosos de tipo 1/1 (caolinita y halloysita). Los óxidos de hierro

(goetita y hematites) están siempre presentes y la gibsitita (óxido de aluminio) en muchos casos. La lixiviación de los cationes intercambiables depende estrechamente de la intensidad de las precipitaciones y lleva a distinguir a los suelos saturados (con una tasa superior al 40 %) de los suelos desaturados (tasa inferior al 40 %, pero por lo general, inferior al 30 %, llegando hasta el 5%).

5.8.1. Los suelos ferralíticos saturados: S 7

Están ubicados bajo climas relativamente poco húmedos: 2.000 a 2.500 mm de lluvia en la región costanera, 1.000 a 1.300 mm en la región andina.

Presentan una transición entre los suelos fersialíticos (S6) y los suelos ferralíticos desaturados (S 8) y poseen por lo general un régimen de humedad údico. Excepcionalmente, al Sur de la región de Quevedo, poseen un régimen ústico y en las zonas todavía más secas, pasan rápidamente a suelos vérticos.

Estos suelos ferralíticos han sido clasificados en la Soil Taxonomy dentro del orden de los Inceptisols, o en el de los Alfisols cuando están lixiviados.

Morfología

Los suelos arcillosos poco o nada lixiviados.

Se caracterizan por un perfil ABC. El horizonte humífero es pardo oscuro, con mucha materia orgánica (2,5 al 6 %). El horizonte B es rojizo (7,5 a 5 YR), muy arcilloso (40 a 60 %), con una estructura poliédrica fina muy clara, pero cerrada, lo que los hace macizos. La presencia de caras brillantes en los elementos estructurales es frecuente. Se pudieron evidenciar algunos revestimientos arcillosos pero los horizontes A2 nunca están muy marcados. Los suelos con régimen ústico (S 71) tienen una morfología cercana a la de los de régimen údico (S 72).

Los suelos arcillo-pedregosos lixiviados (S 73)

Están ubicados encima de los grandes conos del piedemonte occidental de la cordillera de los Andes. La presencia de piedras en el material original confiere a estos suelos su textura arcillo-pedregosa. El horizonte lixiviado A2 es muy claro, sobre todo bajo pastoreo, en donde está marcado por algunas manchas de hidromorfismo. El horizonte B es más amarillo que en el caso de los suelos anteriores; sigue estando bien estructurado.

Características analíticas

El pH es ácido (5,8 a 6,5), las cantidades de elementos intercambiables están comprendidas entre 7 y 12 me, los valores de capacidad de intercambio entre 10 y 16 me/100 g de suelo. La tasa de saturación está comprendida entre el 40 y el 70 %. En suelos que tienen un régimen ústico esa tasa puede acercarse al 80 %.

Las cantidades de hierro libre siempre son superiores al 3 %. Sobre formaciones sedimentarias, se acercan a ese valor mientras que sobre roca volcánica y sobre esquistos, alcanzan valores más elevados (7 al 9 %). La relación hierro libre/hierro total está siempre comprendida entre 0,5 y 0,7.

La relación $100 \text{ Al}/(\text{Al}+\text{S})$ es baja, entre 1 y 4.

Los minerales arcillosos son de tipo 1/1: se trata por lo general de metahalloysita y de halloysita, a veces de un poco de illita.

Los óxidos de hierro son principalmente hematites. La gibsitita nunca fue identificada en los suelos que poseen un régimen de humedad ústico.

5.8.2. Los suelos ferralíticos o pseudo-ferralíticos desaturados: S 8

Son característicos de las regiones más húmedas y se ven afectados por regímenes hídricos údicos y hasta perúdicos. Las precipitaciones correspondientes son superiores a 1.300 mm en las alturas de los Andes y a 2.500 mm en las regiones costaneras y amazónicas.

Los perfiles son de tipo ABC. Reposan sobre materiales originales muy profundos y muy alterados, mientras que sus horizontes están más o menos diferenciados, desarrollados, transformados o rejuvenecidos. En las pendientes más fuertes de las vertientes y de las colinas, estos horizontes están erosionados, pero los niveles lateríticos subsisten.

Bajo la cobertura forestal original, los horizontes humíferos son ricos en materia orgánica, cuya tasa es, por lo general, superior al 4 % en los 20 primeros centímetros. Se distinguen suelos "menos" o "más" humíferos de cada lado de un límite del 10%.

Los horizontes B, a nivel de los cuales serán evaluados todos los demás criterios, presentan colores vivos: pardo, amarillo, rojo o combinado.

Las texturas dependen del material original y pueden presentar importantes residuos cuarzosos (hasta el 90 %).

Es la fracción arcillosa la que caracteriza a estos suelos. Los horizontes superficiales son frecuentemente pobres en arcilla, pero no existen signos evidentes de una acumulación en los horizontes B, ni de una lixiviación, ni de horizontes "argílicos". Además, la textura de los suelos más arcillosos está a menudo disimulada por la abundancia de las pseudo-partículas que falsean los resultados del análisis (resisten más a la dispersión cuando las muestras han sido secadas rápidamente y conservadas por mucho tiempo).

Tomando en cuenta las condiciones climáticas y topográficas de los lugares en que se observan estos suelos, deberían ser "ferralíticos", es decir, que su evolución mineralógica debería llevar a la eliminación del silicio, a la concentración relativa de la alúmina (por lo tanto una relación molecular sílice/alúmina inferior a 2), es decir, a la desaparición de los minerales primarios de tipo 2/1. En realidad, se observa una importante proporción de suelos en donde estos minerales subsisten y cuya relación sílice/alúmina sigue siendo ampliamente superior a 2, yuxtapuestos a suelos ricos en gibsita, cuya relación sílice/alúmina baja a 0,7.

No obstante, para todos estos suelos, salvo en caso de rejuvenecimiento por erosión o coluvionamiento, la lixiviación de las bases es de fuerte a muy fuerte, las cantidades de elementos intercambiables son, por lo general, inferiores a 4 me/100 g, y la tasa de saturación, generalmente inferior al 10 %, baja a menos del 1 %. Las cantidades de hierro libre son elevadas, la relación hierro libre/hierro total está comprendida entre 0,5 y 0,9.

La acidez es muy fuerte, ya que el pH siempre es inferior a 5,5 y puede bajar a menos de 4,0. Las cantidades de aluminio intercambiable son excepcionalmente altas, siendo el índice m siempre superior a 30, por lo general, a 80 y llegando a alcanzar 90. Los suelos más desaturados, los más ácidos y los más ricos en aluminio intercambiable son los que contienen la mayor cantidad de minerales 2/1. Como resulta difícil identificarlos (a no ser mediante el análisis) y delimitar su extensión en relación con los verdaderos suelos ferralíticos, son llamados "pseudo-ferralíticos".

Los principales criterios utilizados para distinguir, entre sí a estos suelos o coberturas complejas de suelos son:

- la composición mineralógica de la fracción arcillosa,
- los contenidos de materia orgánica,
- los contenidos de aluminio intercambiable (valores de m),
- los colores.

Los suelos con minerales arcillosos de tipo 1/1

Se trata de los minerales característicos de los suelos ferralíticos: ckaolinita, metahalloysita y halloysita.

Los suelos poco humíferos

Son suelos cuyos contenidos en materia orgánica son inferiores al 10 %. Se encuentran por debajo de los 2.500 m de altitud y generalmente por debajo de los 1.800 msnm.

- Los suelos rojos moderadamente provistos de aluminio intercambiable ($30 < m < 80$): S 81

Están ubicados en las zonas menos húmedas.

A los valores relativamente bajos de este índice están asociados los valores de pH más elevados (4,8 a 5,5) así como tasas de saturación que pueden alcanzar del 10 al 15 % en el horizonte B.

- Los suelos pardos ricos en aluminio intercambiable ($m > 70$):

Estos suelos son característicos de las formaciones detríticas antiguas de los piedemontes orientales de los Andes, constituidos por areniscas, conglomerados o arenas de origen volcánico. Este tipo de roca madre se prestó a una fuerte evolución ferralítica (la más importante observada en el Ecuador y quizás también en la cuenca amazónica). Además, los perfiles más típicos (que no fueron rejuvenecidos por la erosión) llaman la atención por su color pardo (7,5YR), por un desarrollo homogéneo y profundo así como por una textura casi exclusivamente arcillosa (más del 85 %).

Algunos, desarrollados sobre grauvacas, están constituidos por kaolinita más cristalizada (S 82).

Otros, desarrollados sobre conglomerados con guijarros andesíticos, están constituidos por metahalloysita o halloysita (S 83).

Son muy ácidos (pH de 4,3 a 5,0) y muy fuertemente desaturados (tasas vecinas al 5 %). Sin embargo están asociados a perfiles rejuvenecidos cuyas características son mucho menos pronunciadas.

- Los suelos amarillo sobre rojo, muy ricos en aluminio intercambiable ($m > 90$):

Después de un horizonte B, arcilloso, amarillo (10 YR), viene un horizonte B rojo (5 YR), también arcilloso. Estos suelos se encuentran, bastante bien desarrollados, a menudo modificados por coluvionamiento, sobre los pequeños relieves de la parte baja de las vertientes y de los valles del Sur amazónico (S84). En las fuertes pendientes de las vertientes, están erosionados (S 85).

Los suelos humíferos: S 86

Se encuentran a partir de los 2.500 m de altitud y presentan un régimen de temperatura méxico. Las cantidades de materia orgánica son superiores al 10 % y alcanzan el 25 % (en los 20 primeros centímetros). Se caracterizan por un horizonte humífero muy negro encima de un horizonte B arcilloso amarillo vivo (10 YR 6/8), que se vuelve rojo (5 YR 6/5) en profundidad. La alterita es violácea, con puntos blancos.

Siempre están muy desaturados, muy ácidos. La gibsita es muy abundante, así como el aluminio intercambiable ($m > 90$).

Las coberturas complejas de los suelos con minerales 1/1 y de suelos con minerales 2/1 no separables

Estos suelos recubren sedimentos (conglomerados, areniscas, pelitas y "flyschs") cuya disección deja aflorar uno u otro estrato al cual corresponde tal o cual perfil. En los unos se encuentran suelos ferralíticos, compuestos por kaolinita, huellas de gibsita, de óxido de hierro y de cuarzo en estado fino. Su capacidad de intercambio es baja (10 me/100 g). En otros estratos, sobre todo en las pelitas, subsisten arcillas 2/1 diversas, en cantidad más o menos importante y la capacidad de intercambio se eleva a 40 o 50 me/100 g.

Todos estos suelos son fuertemente ácidos (pH entre 4,1 y 4,6), altamente desaturados (hasta menos del 1 %) y excesivamente ricos en aluminio intercambiable ($80 < m < 98$).

Se pueden distinguir tres tipos de cobertura, sobre todo por las cantidades de materia orgánica y los colores.

Las coberturas de suelos poco humíferos:

- Los suelos rojos de las colinas de la Amazonía periandina constituyen la cobertura más importante (S 87). Unos son de color oscuro, bastante profundos, arcillosos. Otros, de color más claro, también arcillosos pero con fuertes proporciones de cuarzo en estado de arenas finas y de limos gruesos, son poco profundos.

Todos son muy ácidos, altamente desaturados y muy ricos en aluminio intercambiable.

- Los suelos amarillos (S 88) del Sur amazónico y del noreste de Esmeraldas son menos profundos, con textura franco-arcillosa pero más humíferos. Contienen arcillas variadas asociadas a cuarzo en estado fino. Algunos perfiles son los más ácidos, los más desaturados y los más ricos en aluminio intercambiable observados en el Ecuador.

Sobre las pendientes fuertes, algunas coberturas similares están erosionadas (S 89); los suelos, amarillos o rojos, son poco profundos.

Las coberturas de suelos humíferos: S 90

Estos suelos están ubicados a más de 3.500 msnm en los páramos del Sur de los Andes, no cubiertos por las cenizas volcánicas. La acumulación de la materia orgánica (hasta el 20 %) se ve favorecida por un clima fresco y húmedo. Bajo el horizonte humífero, se encuentra un horizonte B amarillo pardo (10 YR) arcilloso. Los minerales arcillosos pueden ser caoliniticos, montmorilloníticos o una mezcla de ambos. La capacidad de intercambio es, por lo tanto, muy variable pero la tasa de saturación y la acidez son siempre muy bajas. El índice m es superior a 90.

5.9. LOS SUELOS PODZÓLICOS: S 100

Sobre las mesetas de areniscas cuarzosas de la cordillera del Cóndor, se distinguen suelos podzólicos, en asociación con Rankers. Por falta de acceso a la cima de estas mesetas, el desarrollo de los horizontes álbicos no se pudo apreciar en el lugar pero se observaron, bajo las cornizas, derrumbes de horizontes orgánicos fibrosos y de niveles areniscos alióticos, impregnados de soluciones humo-ferruginosas negruzcas. Este tipo de suelo es diferente de las capas de "arenas blancas" que están muy extendidas en otros países amazónicos.

6 - EL MAPA DE SUELOS A 1:2'000.000

Las unidades de suelos descritas anteriormente están localizadas en el mapa de los paisajes físicos a 1:1'000.000 en el cual cada paisaje se caracteriza, entre otros, por un suelo cuya sigla se cita en este documento.

El mapa de los suelos a 1:2'000.000 propone una imagen más sintética de su repartición en el país.

La leyenda explicativa se presenta bajo la forma de cuadro con 4 columnas que proporcionan las siguientes indicaciones:

- primera columna: elementos acerca del medio, las condiciones de pedogénesis y los principales procesos pedogenéticos;
- segunda columna: una denominación pedogenética de los suelos;
- tercera columna: las siglas de los suelos descritos en este capítulo. No están todos, ya que algunas unidades son muy pequeñas para ser representadas a esa escala
- cuarta columna: los cuadros de representación que se refieren a las diferentes unidades cartográficas; estas pueden ser definidas por un suelo, por un conjunto de suelos (en este caso, se recuerdan en la columna anterior las siglas de los diferentes suelos que lo componen) o por un medio.

LEYENDA DEL MAPA DE SUELOS

SUELOS ALUVIALES

El medio		Los suelos		Sigla	Cuadro
Fluvio-marino	Playas y manglares	S. arenosos		A 11	1
		S. franco-arcillosos		A 12	
Fluvial	Mineral	S. saturados	areno-pedregosos arenosos	A 21	2
			arenosos	A 22	
			francos	A 23	
		S. median. saturados con text. indiferenciadas	arcillosos sin capa freática	A 24	4
			arcillosos con capa freática	A 25	
			arcillosos empapados y salinos	A 26	
			muy arc. sin capa freática	A 27	
	muy arc. con capa freática	A 28			
	± hidromórficos	A 31	5		
	hidromórficos y salinos	A 32			
	S. con caract. ándicas	A 4	6		
	Orgánico	S. hidromórficos y orgánicos	A 5	7	

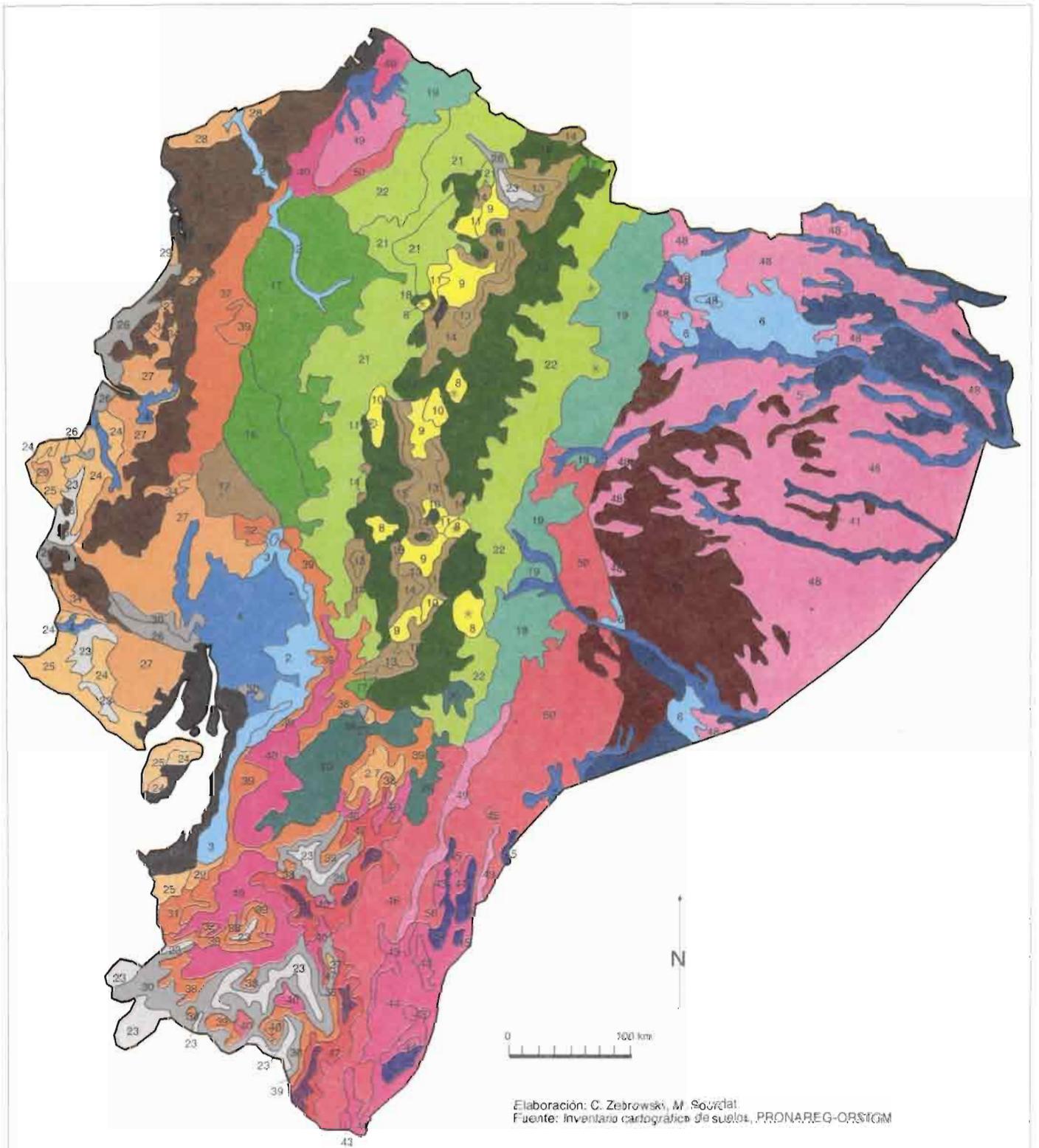
SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS

Muy reciente: aportación y erosión		S. poco evolucionados	de textura arenosa gruesa	C 11	8
			de text. are. fina (M.O. < 1%)	C 12	9
			de text. are. fina (M.O. 1-3%)	C 13	10
			de text. are. fina (M.O. > 3%)	C 14	11
Joven seco a medianamente húmedo: presencia de minerales arcillosos de tipo halloysítico		Brunizems franco-arenosos	régimen ústico: t.s. > 21°	C 21	12
			régimen ústico: t.s. 13-21°	C 22	13
			régimen ústico: t.s. 13-21°	C 23	14
			régimen ústico: t.s. 10-13°	C 24	15
húmedo: presencia de productos amorfos	cobertura continua de ceniza volcánica	Andosoles saturados		C 31	16
		Andosoles desaturados típicos	pardo obscuro t.s. >13°	C 32	17
			negro t.s. < 13°	C 33	18
	Andosoles desaturados perhidratados	café-amarillento t.s. > 13°	C 34	19	
		negro t.s. < 13°	C 35	20	
	cobertura piroclástica discontinua	S. desarrollados a partir de varios materiales, erosionados, coluvionados	y andosoles desaturados	C 32	21
y andosoles perhidratados			C 34	22	

SUELOS DESARROLLADOS A PARTIR DE ROCAS ANTIGUAS

El medio		Los suelos	Sigla	Cuadro
<u>Arido: complejo absorbente saturado, acumulación de sales en el perfil</u>				
Presencia de minerales 2/1	Erosión dominante	S. poco evolucionados	S 11	23
	Equilibrio	Vertisoles	S 41	24
	Fenómenos de degradación	Planosoles vérticos Planosoles no vérticos	S 22 S 23	25
<u>Seco: complejo absorbente saturado</u>				
Presencia de minerales 2/1 Material original sedimentario	Erosión dominante	S. poco evolucionados amarillentos	S 12	26
	Equilibrio	Vertisoles arcillosos	S 42	27
		Vertisoles arcillo-arenosos	S 43	
			S. pardos, arcillosos	S 53
	Fenómenos de degradación	Planosoles	S 21	29
Presencia de minerales 2/1 y 1/1 Material volcánico	Erosión dominante	S. poco evolucionados, rojos	S 16	30
	Equilibrio	S. fersialíticos, rojos	S 61	31
Presencia de minerales 1/1. Mat. volcánico	Equilibrio	S. ferralíticos saturados	S 71	32
<u>Húmedo: complejo absorbente saturado</u>				
Presencia de minerales 2/1	Erosión dominante	S. poco evolucionados, amarillos	S 13	33
	Equilibrio sin acumulación de M.O.	Vertisoles	S 44	34

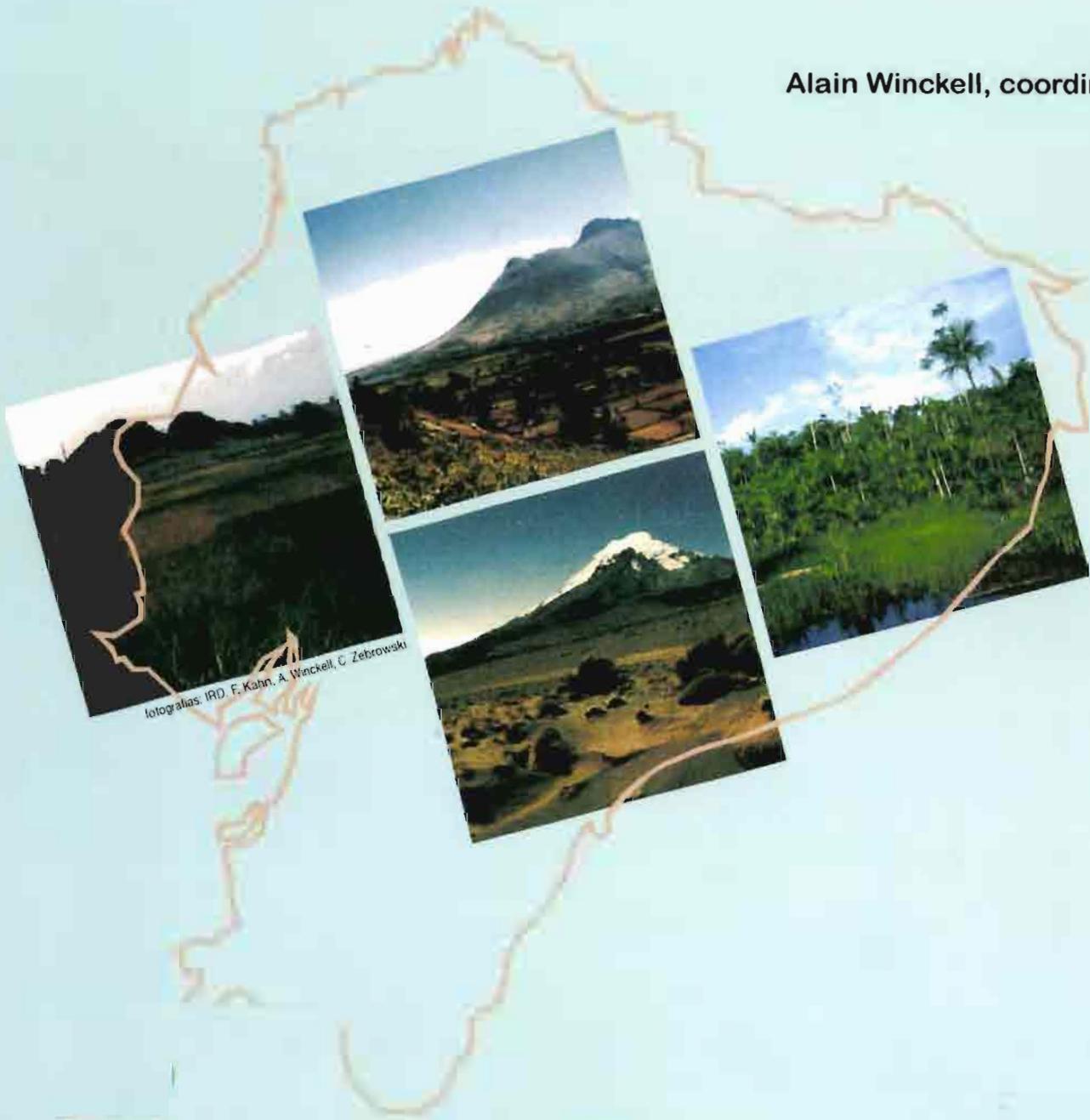
		S. pardos arcillosos	S54	35
	con acumulación de M.O.	S. con características mólicas: - profundos - medianamente profundos	• S 31 S 32	36
<u>Húmedo: complejo absorbente medianamente saturado</u>				
Presencia de minerales 1/1 en la cima del perfil	Material original: arcilla y arenisca	S. fersialíticos lixiviados, amarillos (asociados a los suelos precedentes)	S 64	37
	Mat. volcánico y metamórfico	S. fersialíticos, no lixiviados	S 63	38
Presencia de minerales 1/1 en todo el perfil	Mat original diverso	S. ferralíticos, arcillosos S. ferralíticos, arcillo-pedregosos lixiviados	S 72 S 73	39
<u>Húmedo: complejo absorbente desaturado</u>				
Presencia de minerales 1/1	Equilibrio	S. ferralíticos rojos	S 81	40
		S. ferralíticos pardos, con caolinita	S 82	41
		S. ferralíticos pardos, con halloysita	S 83	42
		S. ferralíticos amarillo/rojo	S 84	43
	Fenómenos de degradación	S. podzólicos asociados a los precedentes	S 100 S 84	44
		S. podzólicos	S 100	45
	Erosión	S. ferralíticos amarillo/rojo, rejuvenecidos	S 85	46
Acumulación de M.O. t.s. < 13°	S. ferralíticos amarillo/rojo, humíferos	S 86	47	
Presencia de minerales 1/1 y/o 2/1 indiferenciados	Equilibrio	S. ferralíticos y pseudo-ferralíticos rojos	S 87	48
		S. ferralíticos y pseudo-ferralíticos amarillos	S 88	49
	Erosión	S. poco profundos amarillos o rojos	S 89	50
	Acumulación de M.O. t.s. < 13°	S. ferralíticos y pseudo-ferralíticos humíferos	S 90	51



LOS PAISAJES NATURALES DEL ECUADOR

Volumen 1 - Las condiciones generales del medio natural

Alain Winckell, coordinador



Instituto Panamericano
de Geografía e Historia



Instituto Geográfico
Militar



Institut de recherche
pour le développement

GEOGRAFÍA BÁSICA DEL ECUADOR
TOMO IV GEOGRAFÍA FÍSICA
VOLUMEN I

LAS CONDICIONES DEL MEDIO NATURAL

Autores : Alain Winckell
René Marocco
Thierry Winter
Charles Huttel
Pierre Pourrut
Claude Zebrowski
Michel Sourdat

IPGH Instituto Panamericano de Geografía e Historia (Sección Ecuador)
IRD *Institut de Recherche pour le Développement (ex-ORSTOM)*
IGM Instituto Geográfico Militar



Publicación del Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica, en el marco del acuerdo de Cooperación Científica entre el Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Sección Nacional del Ecuador, y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación

Impreso en los talleres gráficos del IGM del Ecuador

- Textos:

Traducción y revisión : O. de Chávez, A. Armendáriz, M. Luna, C. Simon,
C. Zebrowski, J. León, F. López

Diagramación en Macintosh™: Darwin. Montalvo

- Cartografía :

Programas Carto 2D, Canvas y Adobe Illustrator.

Realización: D. Montalvo

-Separación de colores

Pantone Impresiones

Este libro fue elaborado en 1992 a partir de los conocimientos que se tenía en esa época sobre la geografía y las ciencias asociadas, relativas al medio físico del Ecuador

© 1997 Derechos de la primera edición :

ISBN-9978-92-165-6

-- IPGH (Sección Ecuador), apartado 17-01-3898, Quito, Ecuador
ORSTOM (Francia), 213, rue La Fayette - 75480 Paris cedex.

QUITO - ECUADOR

Las opiniones expresadas en este libro son de responsabilidad exclusiva de sus autores
y no constituyen necesariamente criterio atribuible a las entidades auspiciantes.