

Los suelos con cangahua en el Ecuador

Claude ZEBROWSKI

Abstract

Indurated volcanic soils are located in the North of the interandean basin. Soils are distributed according to a climatic toposequence. The indurated horizons (cangahua) are located in paleosoils. Their hardness is very high in dry areas, at the bottom of the soil se-quence, and lower in high altitude areas which are more humid. The soils with cangahua at less than 20 cm depth cover about 80,000 hectares.

Keywords: Cangahua - Ecuador - Soils Characteristics

INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, los suelos volcánicos que presentan capas duras llamadas cangahua (lo que significa tierra estéril) están localizados en la parte septentrional del callejón interandino. Sus características y distribución fueron detalladas en el marco de un inventario de los recursos naturales realizado de 1974 a 1984 por el Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG) y el ORSTOM.

Esos trabajos desembocaron en la elaboración de mapas a escala 1:50.000 (Colmet-Daage *et al.*, 1974-1982) y posteriormente en mapas de síntesis a escala 1:200.000 (Colmet-Daage y Zebrowski, 1980-1984). Existe entonces la información básica relativa a la localización y las características de los suelos volcánicos endurecidos, pero dispersa en numerosos documentos.

En el marco del estudio de la «Rehabilitación y conservación de los suelos volcánicos endurecidos y estériles de América Latina» (contrato CE-STD3/ ORSTOM n° TS3*CT 930252), se había previsto una síntesis de los trabajos existentes con el fin de precisar la localización y la extensión de los diferentes tipos de suelo de cangahua.

El mapa de localización presentado (figura 1) es el resultado de esa síntesis. Las superficies ocupadas por los suelos fueron calculadas después de «scanear» los mapas edafológicos originales. El resumen de las características de los suelos se elaboró una vez examinados la descripción y los resultados analíticos de todos los perfiles descritos por Colmet-Daage *et al.*

Antes de presentar los resultados, se revela necesario recordar algunos grandes rasgos de la edafogénesis según las condiciones climáticas y el origen de los materiales en los Andes ecuatorianos.

EL CLIMA

El clima de la cuenca interandina, al Norte de Chunchi, límite meridional de los suelos de cangahua, es tropical de altura. Se caracteriza por una estación lluviosa de

octubre a mayo y dos estaciones secas, la una, bien marcada, de junio a septiembre, la otra, menos pronunciada, en diciembre-enero. En realidad, los climas se distribuyen según una topo-climo-secuencia (cuadro 1). El total anual de precipitaciones es inferior a 500 mm en las zonas más bajas y alcanza 1.500 mm en altura (Cadier *et al.*, 1978).

altura (m)	1.800		3.200		3.600	
P media anual (mm)	< 500*		800		1.000	
nº meses secos	> 4				< 4	
régimen tº suelos	isohipertérmico		isotérmico		isomésico	
vegetación	caña de azúcar		piso del maíz		piso de la papa	
suelos	con capa muy dura		con capa dura		sin capa dura	

Cuadro 1 - Topo-climo-secuencia

El número de meses secos disminuye entonces desde la parte inferior hacia la parte superior de la secuencia (según Cadier *et al.*, 1978, el mes seco corresponde a aquel en el que la evaporación potencial promedio es superior a las precipitaciones medias mensuales).

Las temperaturas varían poco a lo largo del año, y la del suelo es muy cercana a la del aire. Disminuyen igualmente con la altura, de manera que el régimen de temperatura del suelo, isohipertérmico a menos de 1.800 m.s.n.m., pasa por los niveles isotérmico e isomésico antes de alcanzar el régimen isofrígido, en el límite de los páramos, a cerca de 3.600 m.s.n.m.

Los cultivos se reparten bastante bien a lo largo de esta toposecuencia al igual que los suelos. Aquellos que presentan capas endurecidas poco profundas están localizados generalmente en las partes bajas de las vertientes que reciben una precipitación media anual inferior a los 1.000 mm.

LOS MATERIALES ORIGINALES DE LOS SUELOS: EL VOLCANISMO RECIENTE EN EL ECUADOR

El volcanismo reciente o Cuaternario se caracteriza por la abundancia de emisiones bajo la forma de lavas pero sobre todo de proyecciones piroclásticas. Se distinguieron dos generaciones de piroclastos (Winckell y Zebrowski, 1992). Una, calificada de antigua, se inició hace más de 50.000 años y concluyó alrededor del año 11.000 BP, es decir a finales de la época glaciaria. La segunda, llamada reciente, comenzó en los años 8.000 BP produciendo depósitos históricos.

Las proyecciones antiguas alcanzaron una extensión particularmente importante puesto que cubren, en la parte septentrional del Ecuador, una superficie igual al tercio del país. Fueron identificadas en grandes espesores al Oeste hasta una vertical que pasa por Quinindé, al Sur hasta la latitud de Chunchi y al Este hasta el pie de las vertientes orientales de la Sierra. Nunca se encuentran en cambio en los páramos que estaban en esa época cubiertos de glaciares. En las cuencas interandinas, los piroclastos presentan espesores que pueden alcanzar 30 a 40 m, y muy localmente un centenar de metros. Corresponden a emisiones de tipo freatomagmático o a caídas aéreas, a menudo a una alternancia de las dos. Las formaciones llamadas cangahua están siempre localizadas en esos materiales.

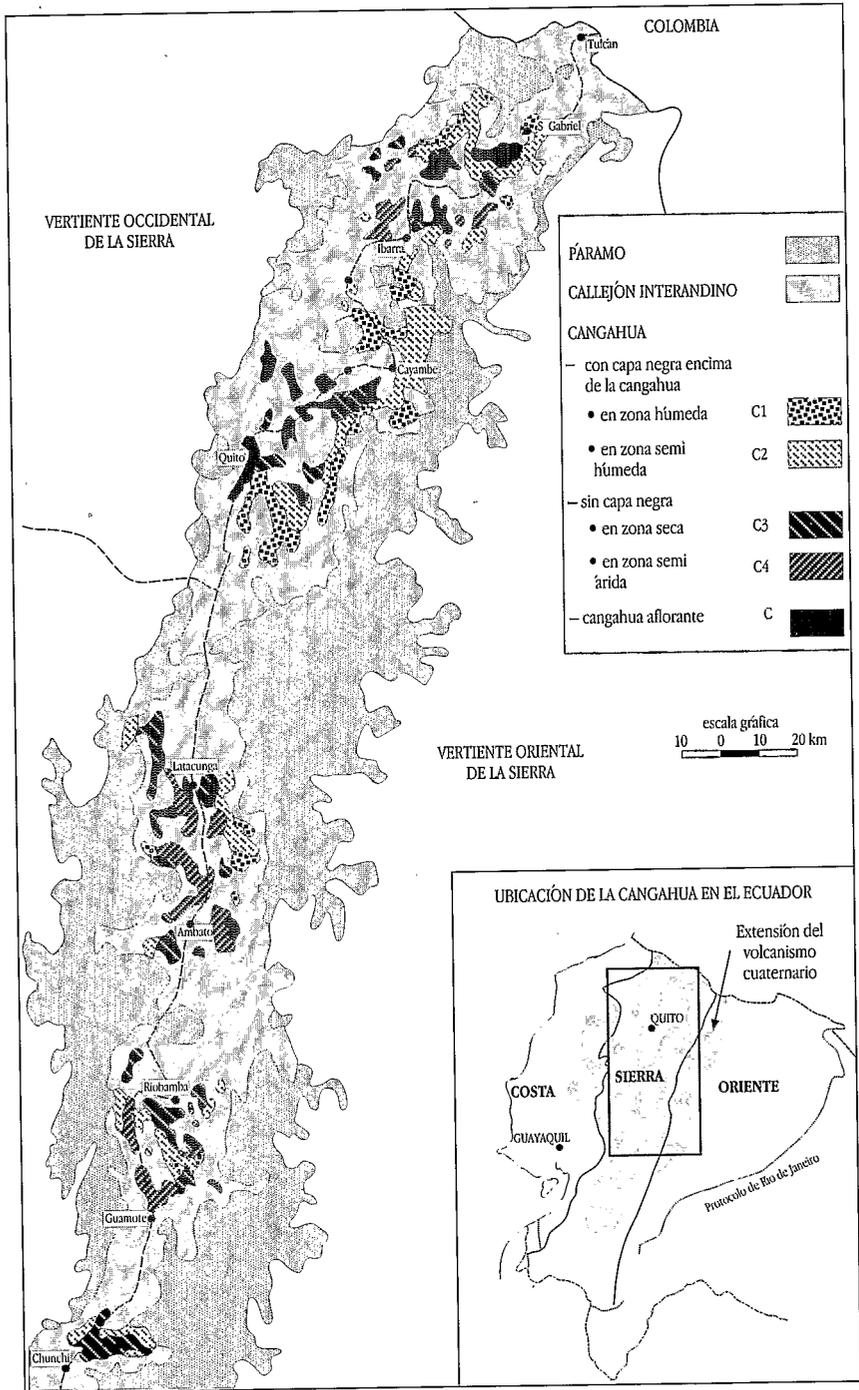


Figura 1

Las proyecciones recientes tienen una extensión sensiblemente similar a la de las anteriores a las que, por lo tanto, recubren, pero siendo posteriores al final de la última glaciación, cubren igualmente al páramo en donde reposan sobre el substrato metamórfico erosionado por los glaciares. Su espesor es menor y no alcanza, en el caso de los depósitos que cubren a los páramos, sino 2 a 4 m. Corresponden únicamente a caídas aéreas de tipo lapillí y ceniza. De esas fases de caídas recientes, dos alcanzaron una extensión importante. La primera fue datada de 2.600 años, la segunda de 1.600 años (Winckell y Zebrowski, por publicarse).

Los suelos que se observan son entonces suelos compuestos: el suelo superior proviene de las piroclastitas recientes, el suelo enterrado de las piroclastitas antiguas.

EVOLUCIÓN DE CIERTAS CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES EN LA TOPOSECUENCIA

Las piroclastitas recientes

El espesor de los suelos formados a partir de estas caídas está estrechamente vinculado a la altura. Los suelos menos espesos están localizados en la parte baja de la secuencia, los más espesos en la parte alta. En efecto, la alteración de las piroclastitas es menos rápida en clima seco y sobre todo la erosión ha sido más fuerte en las zonas secas cultivadas desde mayor tiempo atrás. Sin embargo, el espesor de los suelos depende igualmente de la distancia con relación al volcán. Así, en la parte inferior de la cuenca de Ambato, en donde se acumularon los depósitos del Tungurahua y del Cotopaxi, los suelos en pendientes débiles son relativamente espesos mientras que, más al Sur, en la región de Cuenca en donde el espesor de los depósitos fue menor debido a su alejamiento de los volcanes, los suelos, que tienen algunas decenas de centímetros de espesor en los páramos, han sido completamente erosionados en la cuenca interandina.

Asimismo, a medida que aumenta la altura, el color de los suelos se torna más oscuro debido al aumento en contenidos de materia orgánica y al cambio de la naturaleza de los ácidos húmicos, la textura se afina y el pH, así como la tasa de saturación del complejo absorbente, disminuyen.

Las piroclastitas antiguas

La diferenciación de las capas de los suelos desarrollados sobre materiales antiguos aumenta con la altura.

En las regiones semiáridas (régimen de humedad usti-arídico) y secas (régimen de humedad ústico), los materiales están poco alterados; los diferentes depósitos son perfectamente identificables, los paleosuelos corresponden a una sucesión de capas «C» sin capas «A» y «B». Esas capas son muy compactas y duras. Las más duras, a menudo las menos alteradas, corresponden a tobas fácilmente identificables. En estos materiales, la presencia de concreciones de carbonato de calcio es generalizada.

En regiones semihúmedas (régimen de humedad usti-ústico), los suelos presentan una sucesión de capas bien diferenciadas y comprenden:

- una capa humífera negra arcillosa, muy maciza y compacta;
- una capa «B» igualmente arcillosa y muy maciza en donde se encuentran concreciones de carbonato de calcio cuya parte basal forma una red hexagonal en superficie cuando las capas «A» y «B» han sido erosionadas;
- una sucesión de capas C sumamente duras.

En las regiones altas y más húmedas (régimen de humedad údico) los suelos son muy similares. Se diferencian de los anteriores por la inexistencia de concreciones de caliza y por una alteración mayor de las capas «C» que siguen siendo macizas pero menos duras. Generalmente es difícil distinguir los diferentes depósitos.

Al igual que en el caso de los suelos desarrollados sobre piroclastitas recientes, el pH y la tasa de saturación de los desarrollados sobre piroclastitas antiguas disminuyen con la altura.

LA CANGAHUA: UNA DEFINICIÓN DIFERENTE SEGÚN LOS AUTORES

La cangahua, capa endurecida y «estéril», está entonces localizada en las piroclastitas antiguas. Corresponde generalmente a las capas «C» que pueden provenir de tobas o de depósitos de piroclastitas no cementadas pero endurecidas debido a la sequía. Es así como Vera y López (1992) distinguen la cangahua proveniente de flujos piroclásticos de aquella originada por caídas piroclásticas. En condiciones climáticas iguales, la segunda es siempre menos dura que la que proviene de las tobas. Esos autores extrapolan por cierto el término de cangahua a todo material volcánico endurecido (por estar en regiones secas) e incluyen dentro de esa denominación a las coladas de lodo así como a materiales coluvionados.

En sus descripciones de perfil, Colmet-Daage llama cangahua a toda capa dura encontrada en el perfil. Aunque esas capas corresponden siempre a las piroclastitas antiguas, rara vez se especifica si se trata de capas «C» o de capas «B».

Los campesinos ecuatorianos no vacilan en llamar cangahua a la capa humífera de los suelos enterrados, siendo ella más maciza y dura que el suelo superior. La denominan cangahua negra o «chocoto».

Finalmente, en las leyendas de los mapas geológicos, los geólogos de la DGGM (Dirección General de Geología y Minas) agrupan todas las formaciones piroclásticas antiguas bajo la denominación de «formación cangahua». Custode *et al.* (1992) se acercan a este punto de vista y proponen definir a la cangahua como «un suelo antiguo y endurecido».

LAS UNIDADES CARTOGRÁFICAS

Todos los suelos situados por debajo del páramo son entonces suelos compuestos. En la leyenda de los mapas de suelos a escala 1:50.000, los llamados cangahua (suelos «C») tienen una capa endurecida a menos de 70 cm de profundidad. Están localizados en las partes inferiores de las vertientes interandinas. En altura, los suelos recientes son más espesos. Los suelos enterrados están lo suficientemente alterados como para que la agricultura no se vea entorpecida por una capa dura, de modo que fueron agrupados en otras categorías (suelos «M» y «H» de los mapas a escala 1:50.000).

Los suelos «C» de los mapas a escala 1:50.000 fueron divididos en subunidades en función de sus características intrínsecas, de sus regímenes de temperatura y de humedad así como de la profundidad a la que aparece la cangahua. En los mapas de síntesis, en particular en el presentado en este artículo (figura 1), los suelos se agruparon en 5 categorías (C1, C2, C3, C4 y C). La correspondencia entre las siglas de los mapas de síntesis y las de los mapas a escala 1:50.000 se presenta en el cuadro 2.

Características de las unidades

Recordaremos, para cada una de ellas, las principales características, resumidas igualmente en el cuadro 3.

Profundidad a la que aparece la cangahua	Régimen de humedad del suelo			
	usti-árido	ústico	usti-údic	údic

Siglas de los mapas a escala 1:50.000

	régimen de temperatura: isotérmico		isomésico	isotérmico	
70 cm	Cq	Cd	Cm	Cv, Cw	Cf
40 cm	Cu	Cc	Cn	Ci, Cj, Cr	Ck
20 cm	Cy	Cb	Cp	Cs	Ct
10 cm		Ca			
aflorante	C				

Siglas de los mapas de síntesis

cangahua en profundidad	C4	C3	C2	C1
cangahua aflorante	C			

Cuadro 2 - Correspondencia entre las siglas de los mapas a escala 1:50.000 y las unidades de los mapas de síntesis

Unidad C4

Corresponde a los suelos de las regiones semi-áridas con un régimen de humedad usti-árido. Las piroclastitas antiguas están poco alteradas y no presentan capa humífera negra. Los carbonatos de calcio están presentes en todo el perfil.

El horizonte superior, desarrollado a partir de las cenizas recientes, es de color pardo claro, arenoso fino. La transición al paleosuelo es sumamente brusca. Este último es muy compacto, duro; sus contenidos en arcilla son inferiores al 10 %, y los de limo pueden alcanzar el 40 %.

Las tasas de materia orgánica son bajas (0,5 a 2 %), los contenidos de bases intercambiables elevados (13,5 a 30 me/100 g) y el complejo de intercambio está siempre saturado.

El pH es superior a 7 en todo el perfil. Los carbonatos de calcio están presentes bajo la forma de micelio desde la superficie.

Unidad C3

Agrupar los suelos de las regiones secas con régimen de humedad ústico. Las piroclastitas antiguas están siempre poco alteradas.

Los suelos son poco diferentes a los anteriores, pero los carbonatos de calcio están a menudo ausentes en las capas superficiales y el pH presenta valores un tanto más bajos. Es neutro a poco ácido en superficie, aumenta en profundidad, con la formación de concreciones o costras de calcáreo.

Unidad C2

Corresponde a suelos localizados en regiones semihúmedas cuyo régimen hídrico es usti-údic.

El suelo reciente es pardo oscuro a negro, limo-arenoso, ligeramente más arcilloso y negro en profundidad. La transición hacia el paleosuelo es bastante clara de manera que es posible distinguir el origen de los materiales.

El paleosuelo está compuesto de una capa humífera negra arcillosa a la que sigue una «B» maciza, amarillenta, franco-arcillosa a arcillosa (al menos 20 % de arcilla y 40 a

60 % de limos) con concreciones calcáreas. La sucesión de capas «C» que comportan concreciones calcáreas, es perfectamente reconocible. Las tasas de materia orgánica son más elevadas que en los suelos anteriores (1,5 a 6,9 %). Los contenidos de bases intercambiables siguen siendo elevados (13,5 a 29 me/100 g) en relación a la textura fina. La tasa de saturación está comprendida entre 62 y 96 en la superficie, ligeramente inferior a 100 en el paleosuelo. El pH, ligeramente ácido en la superficie, es cercano a la neutralidad en el paleosuelo.

Régimen de humedad	usti-arídico	ústico	usti-údicico	údicico
--------------------	--------------	--------	--------------	---------

Características morfológicas

Suelos de superficie	Color	pardo	pardo oscuro a negro	
	Textura en superficie	arenoso fino	limo-arenoso	
	Capa argílica	ausente	presente	
			negro revestimientos	muy negro numerosos revestimientos
Suelos enterrados	Materiales originales	poco alterados	muy alterados perfiles diferenciados (A-B) « A » negro « A » muy negro	
	Textura	limo-arenoso (A < 10 %, L = 25-40 %)	limoso fino (A = 20 %, L = 45-60 %)	
CaCO ₃	micelio desde la superficie	concreciones posibles en profundidad		ausente

Características analíticas de los suelos de superficie

M.O. (%)	prom. 1,48 med. 1,55 (0,5-2,2)	prom. 1,36 med. 1,22 (0,68-2,36)	prom. 3,7 med. 4 (1,5-6,9)	prom. 5,3 med. 4,9 (3,2-8,7)
pH	8-9 en todo perfil	6,5 - 7 en superficie cercano a 7 en profundidad		5,5-6 en superficie 6,5 en profundidad
B.l. (me/100 g) en « B »	prom. 19,3 med. 17 (13,4-30)	prom. 9 med. 9 (5-13,1)	prom. 18,5 med. 18 (13,5-29)	prom. 12,5 med. 12 (7,5-18)
Tasas de saturación	saturado		prom. 82 med. 87 (62-69)	prom. 65 med 62 (52-77)
P ₂ O ₅ (Truog)	prom. 12,2 med. 10,8 (4,2-29)			

Clasificación	Durandept	Durandept	Durustoll	Duriudoll
----------------------	-----------	-----------	-----------	-----------

Siglas	C4	C3	C2	C1
---------------	----	----	----	----

Cuadro 3 - Características de los suelos**Unidad C1**

Localizada en las regiones húmedas, el régimen hídrico de sus suelos es claramente údicico.

El suelo reciente es aún más negro, sobre todo en profundidad (2,5Y2/0) en donde los revestimientos arcillosos son abundantes, de manera que la transición al paleosuelo es gradual y es a veces difícil reconocer lo que proviene de materiales recientes y lo originado en materiales antiguos, a no ser por una diferencia de granulometría y de consistencia.

El paleosuelo, bastante similar al anterior en la sucesión de las capas, se caracteriza por una alteración mayor que se traduce en un mayor espesor de la capa «B» y en la inexistencia de concreciones calcáreas.

Las tasas de materia orgánica son aún más elevadas. Los contenidos en bases intercambiables son menores (7,5 a 18 me/100 g) así como la tasa de saturación del complejo absorbente (52 a 77 % en el suelo superior, cercano al 80 % en el paleosuelo). El pH, ácido (5,5-6) en la superficie, lo sigue siendo ligeramente (6,5) en profundidad, inclusive en el paleosuelo.

Unidad C

Comprende el conjunto de zonas en las que afloran las capas endurecidas de cangahua después de la erosión de las capas superiores.

La mayor parte de esas unidades están localizadas en las regiones secas donde la erosión es fuerte y los suelos poco espesos, es decir en las zonas donde se encuentran las unidades C2, C3 y C4.

Los documentos cartográficos a escala 1:50.000 no distinguen los materiales en función de su dureza. Basta con recordar que los más duros, por lo tanto los más difíciles de rehabilitar, están localizados en las regiones más secas (unidades C3 y C4), mientras que los menos duros se sitúan en zonas un tanto más húmedas (unidades C2).

Extensión de las unidades

Se calculó la superficie total de cada unidad en cada una de las cinco grandes cuencas naturales del callejón interandino volcánico:

- la cuenca de Ibarra agrupa las regiones andinas de las provincias de Carchi y de Imbabura;
- la cuenca de Quito corresponde a la parte andina de la provincia de Pichincha;
- la cuenca de Latacunga abarca las partes andinas de las provincias de Tungurahua y Cotopaxi;
- la cuenca de Riobamba, la parte andina norte de la provincia de Chimborazo;
- la cuenca de Alausí, la parte andina sur de la provincia de Chimborazo.

En cada una de esas cuencas se calcularon (cuadro 4):

- la superficie de las ciudades;
- la superficie de cada una de las unidades de suelos de cangahua (C, C1, C2, C3, C4);
- la superficie total de los suelos con cangahua a menos de 70 cm ($C_g = C+C1+C2+C3+C4$);
- la superficie de los suelos en los que la cangahua aparece a menos de 20 cm (C^*);
- la superficie de suelos no cultivados (NA) que no corresponden a las ciudades: dunas, pendientes muy fuertes, erosionadas en regiones secas;
- la superficie de suelos cultivados que no presentan capa endurecida (cangahua) a menos de 70 cm de profundidad (SA);
- la superficie de suelos actualmente cultivados (Sc);
- la superficie total de la cuenca interandina volcánica situada por debajo del páramo (St).

La superficie total de los suelos de cangahua (C_g) es de 239.650 ha, es decir el 21,35 % de la superficie de la cuenca interandina volcánica situada por debajo del páramo. De esa superficie, 36.858 ha, es decir el 15,4 %, están totalmente erosionadas. Agregando los suelos en los que la cangahua aparece a menos de 20 cm de profundidad, son 79.290 ha las que deberían ser subsoleadas con el fin de reincorporarlas a la agricultura eficaz.

Región	C/Cg	C*/Cg	C*/Sc	Cg/St	Cg/SA
Ibarra	18,12	28,80	9,00	17,94	40,19
Quito	17,09	29,84	9,19	23,45	39,26
Latacunga	16,12	34,70	9,91	22,22	35,11
Riobamba	8,63	37,81	9,73	20,63	30,66
Alausí	6,33	52,28	20,60	28,41	48,52
País	15,38	33,09	9,86	21,56	37,24

Superficies

Región	ciudades	C	C1	C2	C3	C4	Cg	C*	NA	SA	Sc	St
Ibarra	1.340	10.420	11.156	22.027	5.687	8.223	57.513	16.562	118.640	143.100	184.050	320.590
Quito	5.150	12.737	23.841	26.213	11.074	652	74.517	22.237	48.367	189.800	242.080	317.830
Latacunga	1.400	10.100	5.640	9.758	17.381	19.790	62.669	21.745	39.440	178.500	219.420	282.010
Riobamba	939	2.835	1.711	9.769	11.249	7.299	32.863	12.424	18.307	107.200	127.640	159.310
Alausí	32	766	0	5.770	5.556	0	12.092	6.322	5.515	24.920	30.690	42.559
País	8.861	36.858	42.348	73.537	50.947	35.964	239.650	79.290	230.207	643.520	803.880	1.111.600

Cuadro 4 - Superficies de las diferentes unidades (en ha)

CONCLUSIÓN

Los suelos del callejón interandino volcánico son entonces suelos compuestos —un suelo reciente que reposa sobre una sucesión de paleosuelos— e incluso complejos en altura. Se reparten según un esquema tradicional bajo la forma de una topo-climo-secuencia de la parte inferior hacia la parte superior de las vertientes interandinas.

Los paleosuelos en los que están localizadas las capas endurecidas provienen de una sucesión de depósitos piroclásticos que pueden ser tobas o caídas aéreas. Estas últimas se alteran más rápidamente que las tobas y, en condiciones climáticas iguales, son menos duras que las tobas. Los materiales originales de los suelos de cangahua son entonces muy similares a los de los suelos de tepetate de México. Los paleosuelos son siempre macizos y compactos en las zonas secas, con acumulación de carbonatos de calcio, un tanto más friables en altura.

Aunque el término «cangahua» sea empleado sobre todo para las capas «C» de los suelos localizados en la parte inferior de la secuencia, ciertos autores no han vacilado en englobar bajo ese término partes de las capas «B», e incluso las «A», del paleosuelo debido a la repentina transición del suelo superior, siempre muy friable, al suelo enterrado mucho más compacto. En las zonas erosionadas, son sin embargo las capas «C» o «B-C» las que afloran después de la erosión de las capas superiores y son denominadas cangahua. Salvo en el caso de algunas tobas particularmente duras por estar localizadas en las regiones más secas, la dureza de estos materiales parece ser menor que la de los tepetates en México. En efecto, se midió un tiempo de 20 horas para subsolar una hectárea de tepetate, mientras que con un bulldozer idéntico, hacen falta entre 8 y 10 horas en el Ecuador.

El cultivo de las zonas marginales implica un subsoleo no solamente de los suelos erosionados sino igualmente de aquellos en los que la cangahua está presente a menos de

20 cm de profundidad. Esto representa un total de cerca de 80.000 ha, es decir un décimo de las tierras cultivadas actualmente en el callejón interandino volcánico. Esta proporción aumenta considerablemente en ciertas regiones más pobladas y erosionadas.

Referencias bibliográficas

- CADIER, E.; POURRUT, P.; WINCKELL, A.; ZEBROWSKI, C., 1978: *Carta de isobietas medias anuales e histogramas mensuales*, ORSTOM-PRONAREG, Quito, Ecuador.
- CADIER, E.; HUTTEL, C.; POURRUT, P., 1978: *Carta de número de meses secos*, ORSTOM-PRONAREG, Quito, Ecuador.
- COLMET-DAAGE, F. *et al.*, 1974-1984: *Cartas de suelos de la Sierra ecuatoriana a 1:50.000*, ORSTOM-PRONAREG, Quito, Ecuador.
- COLMET-DAAGE, F.; ZEBROWSKI, C., 1980-1984: *Cartas de suelos de la Sierra ecuatoriana a 1:200.000*, ORSTOM-PRONAREG, Quito, Ecuador.
- CUSTODE, E.; DE NONI, G.; TRUJILLO, G.; VIENNOT, M. 1992: La cangahua en el Ecuador: caracterización morfoedafológica y comportamiento frente a la erosión, en *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, p. 332-346.
- VERA, R.; LÓPEZ, R. 1992: Tipología de la cangahua, en *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, p. 113-119.
- WINCKELL, A.; ZEBROWSKI, C. 1992: La cangahua en Équateur : le contexte paléogéographique de sa formation, en *Terra*, Vol. 10 (número especial: Suelos volcánicos endurecidos, Primer Simposio Internacional, México, 20-26 de octubre de 1991), ORSTOM-Colegio de Postgraduados de Montecillo, México, p. 107-112.