

LA CANGAHUA EN EL ECUADOR: CARACTERIZACION MORFO-EDAFOLOGICA Y COMPORTAMIENTO FRENTE A LA EROSION

The Cangahua in Ecuador: Morpho-Edaphologic Characterization and Susceptibility to Erosion

E. Custode ¹, G. De Noni ², G. Trujillo ¹ y M. Viennot ²

¹ Dirección Nacional Agrícola (M.A.G.), Quito, Ecuador.

² ORSTOM, Quito, Ecuador.

Palabras clave: Ecuador, Cangahua, Sierra volcánica, Mediciones de erosión.

Key words: Ecuador, Cangahua, Volcanic Sierra, Erosion measure.

RESUMEN

En la Sierra volcánica reciente del norte del Ecuador, en condiciones de clima a la vez seco y cálido, en un medio humano caracterizado por una fuerte presión agrícola del hombre, por erosión, la formación geológica derivada de los piroclastos del Cuaternario puede aflorar y presentar un alto grado de endurecimiento. La necesidad de aprovechar la mayor superficie posible hace que esta formación sea usada en la agricultura.

Para evaluar los problemas que presenta esta recuperación, se utilizaron los resultados de la estación de Tumbaco, ubicada en la hoya de Quito: 2,650 msnm, clima ecuatorial de montaña con 2 estaciones húmedas, suelo formado a partir de una cangahua endurecida. El dispositivo de la estación de Tumbaco permite comparar, a medio de parcelas, tres situaciones: "sin vegetación" o Wischmeier, tradicional cultivada y mejorada.

Se observan fuertes variaciones interanuales. Según el tipo de parcela, el escurrimiento anual pasa del 9% (mejorada), al 14% (tradicional) y hasta el 35% (sin vegetación) los meses de septiembre-octubre (siembra) y de abril-mayo (pre-cosecha) son los más críticos. Se notará que los meses de julio-agosto (verano seco) pueden presentar valores de escurrimiento fuertes. Las pérdidas anuales de tierra son respectivamente de 4.20 y 92 ton/ha. Los periodos más críticos son los de la siembra en el caso de la parcela mejorada, de la siembra y abril-mayo en el caso de la parcela tradicional mientras que las pérdidas permanecen a niveles críticos casi durante el año en el caso de las parcelas sin vegetación.

La simulación de lluvia demostró que sobre cangahua endurecida, el escurrimiento alcanza valores hasta de 80% cuando la intensidad es únicamente de 20 mm/h, lo que explica la dinámica erosiva muy activa sobre la cangahua.

SUMMARY

The recent volcanic sierra in Northern Ecuador, characterized by a dry and warm climate and, -due to erosion- by a high anthropic

pressure over land use, displays geological formations issued from piroclastics of the Quaternary which happen to crop out and harden. In view of the pressing need to use all the lands, even the cangahua has to be cultivated.

In order to evaluate the problem of cangahua we used the results of the Tumbaco research station. Tumbaco is located in the Quito valley: 2,650 m high) characterized by a mountainous equatorial climate, two rainy seasons (650 mm of annual rainfall), an average temperature of 16° C and a soil formed from Durandepert intergrade to Durustoll, from a hardened cangahua.

The experimental device compares three runoff plots: one without vegetation (Wischmeier), another with a traditional way of cultivation and the last, with an improved one.

Strong interannual variations were observed. According to the type of plots, the annual runoff goes from 9% (improved), to 14% (traditional), and even to 35% (no vegetation). Months of september-october and april-may (pre-harvesting season) were the most crucial. During the months of july-august very high runoff coefficients may occur. The annual soil losses are respectively 4.2 and 92.0 ton/ha. The most crucial season is the seedtime in case of improved plots, seedtime and april-may in case of traditional plot while, in plots without vegetation, the soil losses are high throughout the whole the year.

The rain simulation showed that the hardened cangahua presented runoff coefficients up to 80% with a rain intensity of 20 mm/h which explains the active and high erosion described on the cangahua.

INTRODUCCION

A pesar de que la cangahua plantea un sinnúmero de incógnitas científicas a nivel de su formación y evolución, es un término muy común y frecuentemente utilizado en el Ecuador. Se puede explicar en gran parte este pensamiento, que a primera vista puede parecer

contradictorio, por un lado porque dicha formación corresponde a un tipo de paisaje típico y bastante extendido de este país y por otro lado porque la cangahua tuvo desde siglos una incidencia fuerte sobre la vida campesina en un país que ha sido y sigue siendo agrícola. En efecto, la palabra cangahua es bien antigua por ser de origen quechua, siendo originalmente su escritura "cangagua". Quiere decir en este idioma ancestral: tierra dura estéril. Esta definición coincide plenamente con las descripciones de los grandes naturalistas del Ecuador entre los que se puede citar Wolf (1892) al final del siglo pasado, y Sauer (1965) en la primera parte del siglo actual. En sus comunicaciones de investigación consideraban a la cangahua como una toba endurecida que hace más pensar en una roca que en una tierra blanda o en un depósito suelto.

En lo que nos concierne, no entraremos en el debate de la génesis de la cangahua y no nos preguntaremos si existen diferentes tipos de cangahua, conscientes que se trata de un tema tan amplio y específico, cuya problemática parece ser más competencia de ciencias como la geología o la edafológica. Del lado nuestro, nos limitaremos al sentido común y consideraremos en esta ponencia que globalmente hay un solo tipo de cangahua y que se trata de un material fino endurecido. Es en este marco que trataremos por un lado de describir y de caracterizar el entorno morfoedafológico de la cangahua en el Ecuador y por otro lado de analizar las consecuencias de su endurecimiento sobre dicho entorno. Una de las principales consecuencias es el papel importante que juega la cangahua al aflorar y su papel posterior en el desencadenamiento de los procesos de erosión. Por dicha razón, reservaremos también una parte de nuestra intervención para analizar más de cerca dicho papel con base en los resultados de la estación piloto de Tumbaco, cuya instalación y manejo son el producto de un acuerdo internacional de cooperación entre la Dirección Nacional Agrícola (DNA) del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación (ORSTOM).

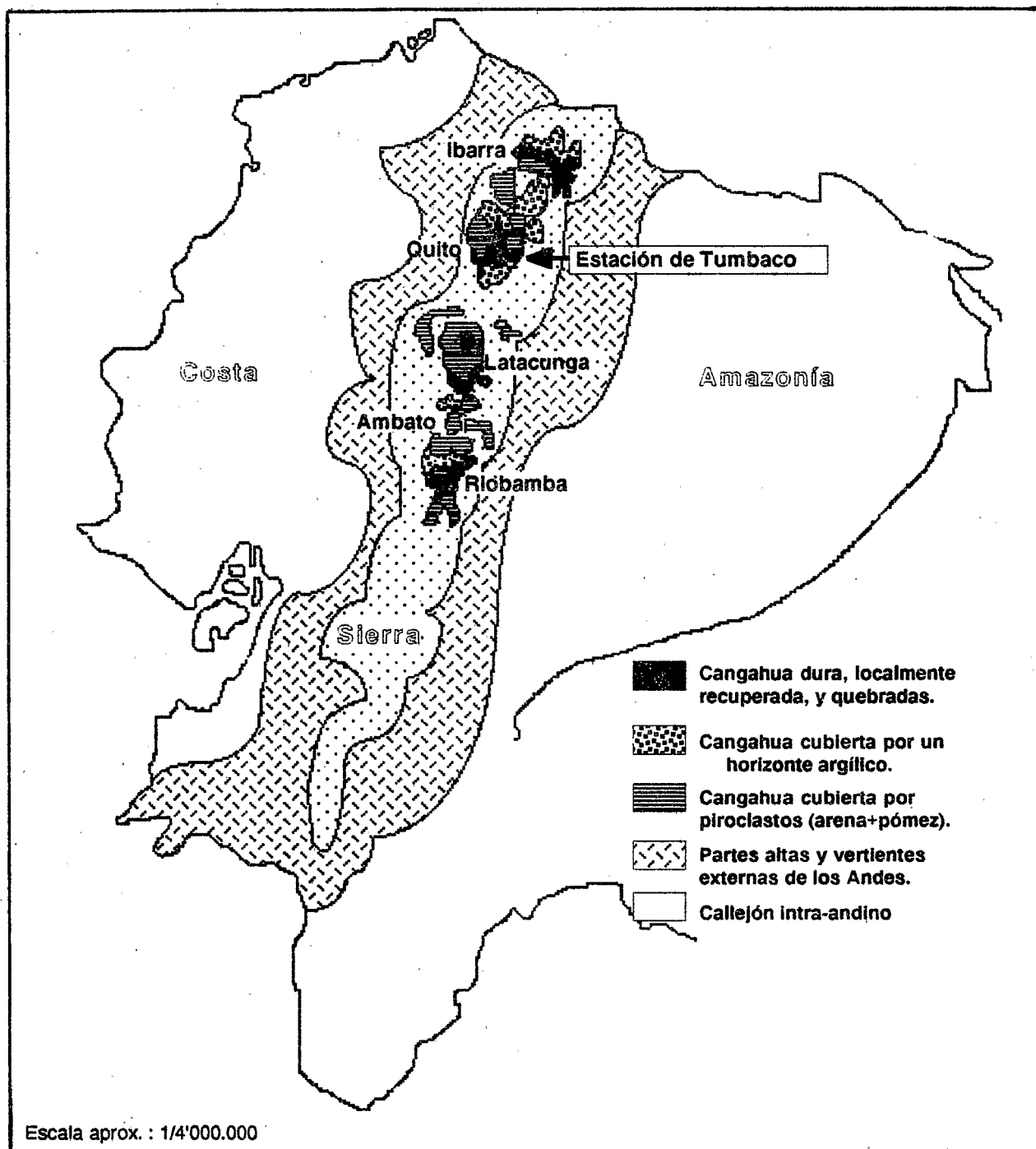


Figura 1. La cangahua en el Ecuador.

UN SUELO "VIEJO" Y ENDURECIDO EN UN ENTORNO MORFO-EDAFICO PARTICULAR

Un Suelo "Viejo" y Endurecido

Para poder fijar los límites del entorno morfo-edafofólico de la cangahua, es necesario definir previamente el contenido del objeto, o sea, determinar: ¿que es para nosotros la cangahua? Como punto de salida, consideremos que la cangahua es un material fino endurecido. En la actualidad, puede encontrarse sea en posición aflorante o sea cubierto por otras formaciones (ver mapa, Fig.1, realizado con base en los mapas de Colmet-Daage y Zebrowski, 1982-84). En el caso primero, se puede tener una superficie dura aflorante (duripán) o un suelo (durustoll y durandept) que es el resultado del ablandamiento de dicha superficie dura por el hombre. En la otra situación, los casos más representativos de recubrimiento de la cangahua pueden ser debidos a un material negro, generalmente de textura limo-arcillosa y siempre con un horizonte argílico al contacto con la cangahua (duriudoll) o por un material claro, poco evolucionado y con numerosos elementos gruesos, en contacto directo sobre la cangahua (psamment, vitrandept).

En estos casos, la cangahua, cuando no ha sido removida por movimientos naturales o por el hombre, se encuentra a poca profundidad (entre 2 a 5 m), predomina el color café amarillento, a pesar de que localmente se pueden apreciar algunos puntos milimétricos más oscuros debidos sea a nódulos rojizos de hidromorfía o sea a nódulos negros de hierro y manganeso.

Cualquiera que sea el sitio de muestreo, tiene aspecto de toba fina, no existen elementos gruesos a excepción de algunos nódulos blancos calcáreos de origen secundario. El endurecimiento es común a las muestras e independiente de la profundidad: parece ser debido a un cemento de naturaleza calcárea y silíceo. La densidad aparente, del orden de 1.7 - 1.8, es

superior a la de los otros suelos de la región. La tasa de materia orgánica es débil, en cuanto a los datos de granulometría son también bastante comparables de un sitio a otro (Cuadro 1).

Cuadro 1. Granulometría de las cangahuas.

Lugar	Granulometría					
	Arcilla	Limo		Arena		
		fino	grueso	fin	gruesa	
Chuspiaco	mini	12.5	27.3	16.9	19.1	2.4
	medi	16.3	33.7	21.6	23.9	4.4
	maxi	21.9	38.9	27.9	30.9	7.6
Tumbaco		23.3	22.5	15.3	25.9	6.3
Cangahua		9.2	16.9	13.0	10.9	15.1

La primera muestra tomada en Chuspiaco corresponde a una cangahua endurecida, en tanto que en Tumbaco y Cangahua, se trata de dos muestras de cangahua ablandada (los campesinos dicen "tolada") para el cultivo. Se notará en primer lugar que la repartición granulométrica es bastante pareja se trate de cangahua dura o de cangahua ablandada por la mano del hombre. Globalmente, la cangahua es un material poco homogéneo con bastante limo y arena y una tasa baja de arcilla.

Desde un punto de vista químico (Cuadro 2), los suelos derivados de la cangahua tienen un pH neutro, a pesar de estar frecuentemente desaturados los horizontes de superficie, y están siempre provistos de calcio de intercambio, así como de potasio. Las dos muestras del Cuadro 2 (Colmet-Daage *et al.*, 1973) fueron recolectadas en la zona de cangahua de El Angel al extremo norte del país: la primera (A) corresponde a una cangahua ablandada y sub-superficial (0-20 cm), la otra (B) ha sido obtenida un poco más profundamente (20-40 cm) en un estado ligeramente endurecido:

Cuadro 2. Características químicas de la cangahua.

	Ca	Mg	K	Na	S	M.O.	N	C/N	pH H ₂ O	pH KCl
	----- meq/100 g -----					----- % -----				
A	9.5	4.5	0.81	0.30	15.1	3.9	0.247	9.3	6.0	5.4
B	14.4	11.4	1.94	0.86	28.6	2.1	0.107	11.6	7.2	6.2

A pesar de ser actualmente bastante pobre en materia orgánica y endurecida, esto no excluye que la cangahua haya sido un suelo, en el sentido edafológico de la palabra, en un período determinado de su evolución. Varios indicios nos conducen a opinar de tal manera. Dentro de los más probables, se puede citar las dos siguientes notas:

- no es raro observar en los numerosos cortes de cangahua que subrayan la topografía de la Sierra norte y central del Ecuador, la presencia en profundidad de capas u horizontes más oscuros que corresponden a una evidente acumulación orgánica y que atestiguan que dicha capa fue un suelo anteriormente;

- también, no es raro encontrar fósiles en la cangahua como lo testifica el número bastante elevado de comunicaciones sobre el tema pareciendo ser la quebrada de Chalán (en las cercanías de Punín, en la Provincia de Chimborazo) un lugar rico en fósiles de mamíferos. Lo más particular, son las bolas de cangahua. Son esferas hoy endurecidas, de 5 a 10 cm de diámetro con un hueco de 1 a 2 cm que indica que fueron huecas originalmente. Para Sauer (1965), dichas esferas resultan de la acción de un insecto de tipo escarabajo cuyas construcciones típicas en bolas se pueden todavía observar hoy en día en Brasil y Chile.

Tomando en cuenta este conjunto de consideraciones, no cambiaremos nuestro punto de vista inicial al considerar un solo tipo de cangahua definiéndola como un material fino endurecido, al contrario no solamente nos ratificamos pero también pensamos que sería más acertado decir "suelo" en vez de "material" o sea definir la cangahua como un suelo viejo y endurecido (paleosuelo?). Tal endurecimiento puede ser atribuido a migraciones de elementos calcáreos y silíceos en el marco de procesos pedo-climáticos, por supuesto particulares pero en nada muy diferentes de los que se conoce actualmente en el callejón intra-andino u otras partes del mundo como por ejemplo Africa del Norte.

Habiendo tratado de conocer mejor el contenido de nuestro objeto, nos proponemos ahora caracterizar el entorno morfo-edafológico actual donde se encuentra la cangahua en el Ecuador.

El Entorno Morfo-Edafológico

Un origen andino

El Ecuador es un país tropical porque se encuentra a la latitud de la línea equinoccial. Es también un país andino porque la parte central del territorio está atravesada completamente de norte a sur por la grandiosa cordillera de los Andes, con más o menos 600 km de largo por un ancho de 150 a 200 km. Resulta de esta situación que el Ecuador está compuesto por un mosaico extraordinario de paisajes naturales: de cada lado de la cordillera llamada localmente Sierra, se encuentra al oeste la región costanera o Costa con una amplia fachada pacífica y al este una parte de la cuenca amazónica, el oriente, donde nacen algunos de los principales afluentes del río Amazonas (ver Figura 1). Sin embargo, a nivel regional, esta diversidad es aún más marcada en la Sierra por tratarse de un típico relieve de alta montaña donde las cumbres más elevadas culminan a 6,000 m. En efecto, las fuertes pendientes irregulares y la red hidrográfica modelada en profundos cañones y quebradas contribuyen, más ahí que en cualquier otra región del país, a modificar el curso de los vientos y de las nubes dando lugar sobre distancias cortas a una gama variada de micro-climas bastante originales y azonales bajo este tipo de latitud. Es en este entorno morfo-climático de los Andes que se encuentra la cangahua. Nunca se hace referencia a dicha formación en la Costa o en el Oriente.

Una situación intra-andina

La montaña andina está desdoblada en dos cordilleras identificadas simplemente la una como occidental porque mira hacia el Pacífico y la otra como oriental (algunos mapas dicen "real") por estar del lado amazónico. Ambas cordilleras están paralelas y en dirección meridiana, entre las dos se encuentra una estrecha depresión o callejón intra-andino, cuyo ancho máximo es del orden de 50 km. Este callejón está constituido por una sucesión de cuencas tectónicas de hundimiento de tipo "graben" que se localizan entre 2,200 - 3,200 m, separadas las

unas de las otras, entre 3,200 - 3,800 m, por pasos o nudos que son grandes bloques levantados ("horst"). Básicamente, la cangahua se encuentra en la zona intra-andina y no pasa 3,200 m de altura (Fig.1). La cangahua cubre de manera bastante uniforme toda la morfología intra-andina.

Una formación reciente de origen volcánico

Los numerosos cortes de terreno, sea de carretera o en las quebradas, hacen ver que la cangahua se encuentra sistemáticamente cerca de la superficie a un nivel de profundidad del orden métrico; en la gran mayoría de los casos dicha profundidad varía de 1 a 5 metros. En las zonas erosionadas, la cangahua aflora en grandes extensiones.

Se puede decir que la cangahua es concordante con los relieves preexistentes; fosiliza y cubre de manera bastante regular dichas formas. En la Figura 2 se esquematizó un corte de terreno típico del callejón intra-andino, situado entre Guayllabamba y Tabacundo en la cuenca de Quito a unos 40 km al norte de dicha capital (Derruau y De Noni, 1979). Se puede notar que el depósito de cangahua interviene después de las deformaciones que afectaron las cineritas y el lahar, descansando de manera muy regular, sin estratificación particular, sobre una superficie de discordancia bien marcada.

Este ejemplo ilustra bastante de cerca las hipótesis y teorías desarrolladas por los especialistas de la geología del Ecuador. Al Terciario que es globalmente un período de fuertes paroxismos tectónicos con base en los cuales se edifica sucesivamente la estructura principal de la cordillera tal como se le conoce hoy en día, sucede en el Cuaternario un período donde predominan las erupciones volcánicas. Los grandes volcanes que bordean el callejón intra-andino emitieron un volumen enorme de materiales dando lugar a importantes recubrimientos de piroclastos (cenizas, lapilli y pómez). La cangahua es parte de esta generación de productos cuaternarios y volcánicos. Análisis mineralógicos efectuados en los laboratorios de ORSTOM (Colmet-Daage, 1973), dan los siguientes resultados:

Cuadro 3. Minerales fracción pesada de una cangahua superficial.

Lugar de muestreo	Prof. cm	Hi	Augita	Ho	Olivina	M.P.
		%				
Otavalo	120-140	27	7	66	0	18
Cayambe	050-060	23	8	69	0	13
Olmedo	100-120	26	8	66	0	?
Cusubamba	030-060	33	11	55	0	23

Hi: Hiperstena Ho: Hornblenda M.P.: Minerales pesados

En el Cuadro 3 se trata de una cangahua poco endurecida. El autor habla de "cangahua superficial" por encontrarse a la base del suelo "donde puede penetrar el barreno o la pala en la parte superior más blanda". La proporción de minerales pesados de origen volcánico en las arenas puede variar según las muestras de 13 a 23%. La hornblenda es la más abundante haciendo pensar en un origen volcánico de tipo andesita o dacita.

En el Cuadro 4, se trata de una cangahua típica endurecida. La proporción de minerales pesados en las arenas es más o menos comparable al ejemplo anterior. Lo que cambia es la repartición de cada uno de estos minerales. La tasa de hornblenda disminuyó notablemente, aumentaron a más de 30 el hiperstena y la augita y aparece la olivina. Esta composición mineralógica dice Colmet-Daage, hace pensar en fases eruptivas más básicas de tipo andesitas con piróxenos.

Cuadro 4. Minerales en la fracción pesada de una cangahua endurecida.

Lugar de muestreo	Prof. cm	Hi (a)	Augita	Ho (b)	Olivina	M. P. (c)
		%				
Ibarra	100	39	32	25	4	17
Cayambe	> 100	23	38	26	13	23

(a): Hiperstena (b): Hornblenda (c): Minerales pesados

Un paisaje de erosión

En sí, una superficie aflorante de cangahua endurecida constituye en la Sierra del Ecuador un paisaje típico de erosión: se trata de superficies bastante regulares, casi sin vegetación, de pendientes variables que cubren las capas subyacentes a manera de una losa de cemento.

En estas condiciones, se entenderá que es un tipo de paisaje que evoluciona poco a causa del endurecimiento del material. La penetración del agua en la cangahua es mínima, en tanto que el escurrimiento es abundante. Hasta 40% de pendiente, predomina un escurrimiento difuso que contribuye a limpiar y a hacer lisas las superficies de cangahua, solo se puede observar localmente, cuando hay una ruptura topográfica pronunciada, algunas acumulaciones arenosas centimétricas. Por encima de 40%, cuando el relieve conduce a una convergencia del agua de escurrimiento pueden formarse cárcavas y quebradas, cuya evolución también es lenta y con un perfil característico en forma de "U" y un perfil transversal en micro-cascadas (De Noni, 1982).

Este tipo de paisaje constituye ya un nivel alarmante de erosión que es un punto sin regreso posible. Antes de llegar a dicho nivel, la erosión debe arrastrar las formaciones suprayacentes a la cangahua, siendo los dos casos más significativos el material con horizonte argílico o las piroclastos de arena y pómez.

En el primer caso (Fig. 3), se esquematizó en A el inicio de deslizamiento del horizonte argílico sobre la cangahua (sentido de la flecha), la capa negra ya no es más continua y se ha formado un pequeño cizallamiento. En B, evolucionó bastante el movimiento de masa, dejando aflorante parte de la cangahua a raíz de la formación de una lupa de deslizamiento. Por fin en C, el escurrimiento por un lado limpió la cangahua de los productos deslizados dejando aflorar aún más la cangahua y por otro lado empezó a excavar dicha cangahua a nivel del cizallamiento inicial creándose un abrupto de erosión bastante consecuente.

En el otro caso (Fig. 4), se representó a piroclastos cubriendo la cangahua, caso en el cual actúa exclusivamente el escurrimiento. En A, se dibujó en punteado el perfil original de la superficie y la formación progresiva de una cárcava cuya evolución es bastante rápida, longitudinalmente, así como transversalmente (micro-derrumbes), por tratarse de un material suelto y blando. En B, se nota que este tipo de dinámica

casi desaparece al contacto con la cangahua, nuevamente el escurrimiento contribuye a lavar la superficie de cangahua y en los lugares más apropiados puede formarse una pequeña cárcava en forma de "U".

De la misma manera actúa también el escurrimiento sobre la cangahua recuperada: el primer nivel es el afloramiento rápido de la cangahua dura, luego se pueden formar progresivamente cárcavas donde la topografía permite una concentración principal de las aguas de escurrimiento.

Al referirse nuevamente al mapa de la Figura 1, se podrá notar que las áreas de cangahua dura y recuperada así como el binomio piroclastos sobre cangahua constituyen la mayor parte de las áreas mapeadas, siendo a la vez las áreas donde la erosión por escurrimiento causa estragos bastante representativos al nivel de todo el país (Almeida et al., 1984). Por tal motivo, dedicaremos la parte siguiente de dicha ponencia a la estación de Tumbaco donde estudiamos el papel de la erosión sobre cangahua recuperada desde 1986.

LA ESTACION DE TUMBACO

Dispositivo y Situación

La estación de Tumbaco (Fig. 1) se encuentra al pie del volcán Ilaló, a unos 20 km al este de Quito, y es perfectamente representativa de las zonas de cangahua que bordean las vertientes internas de las cordilleras, así como de los suelos cultivados sobre cangahua recuperada. Allí los afloramientos y taludes de cangahua constituyen un componente mayor del paisaje entre los cuales se observan pequeñas parcelas de maíz. La estación está ubicada en el borde de una planicie, en la parte superior de una vertiente bastante regular que termina en una quebrada de unos 50 m de profundidad. Se trata de una estación de medición del escurrimiento y de las pérdidas de tierra.

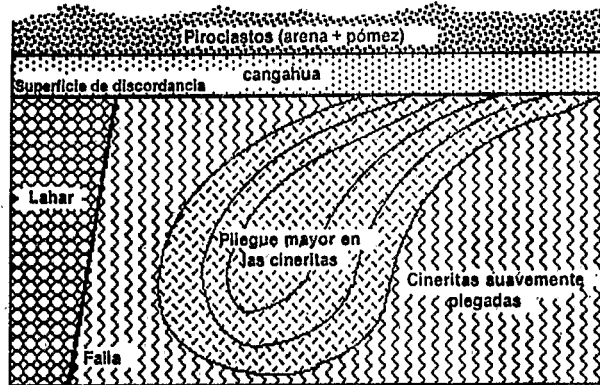


Figura 2. Corte de terreno típico del callejón intra-andino, entre Guayllabamba y Tabacundo (cuenca de Quito).

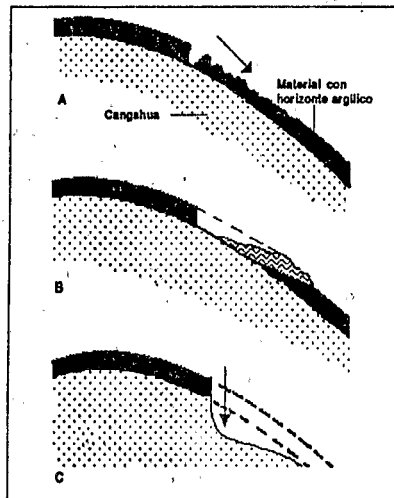


Figura 3. Procesos de erosión. A: inicio del deslizamiento del horizonte argílico sobre la cangahua; B: Movimiento de masa, dejando aflorar la cangahua; C: "limpieza" e inicio de la excavación de la cangahua.

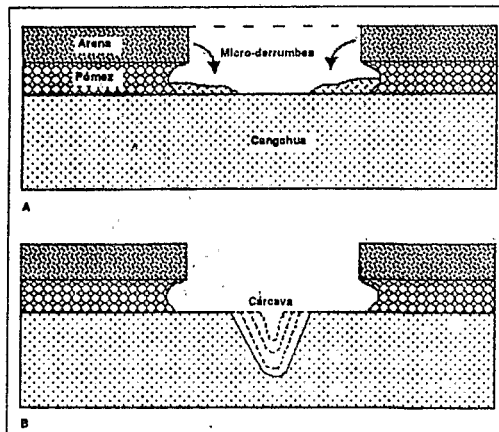


Figura 4. Procesos de erosión de los depósitos de piroclastos cubriendo la cangahua. A: Micro-derrumbes y formación de una cárcava; B: Inicio de una cárcava en la cangahua aflorando.

El dispositivo experimental

Está conformado por tres parcelas de escurrimiento con una pendiente promedio de 20%:

- una parcela testigo, tradicional, cultivada, según las condiciones locales: asociación maíz-fríjol y/o haba. La parcela testigo tiene 100 m² (desde 1990 esta parcela de 100 m² se duplicó con otra de 1,000 m²);

- una parcela experimental en donde, con los mismos cultivos y modificando un solo factor, se prueban diferentes medidas conservacionistas constituidas, básicamente de bandas de pastos dispuestas según las curvas de nivel. La parcela experimental tiene una superficie de 1,000 m², que corresponde a una situación mejorada en relación con la parcela tradicional;

- una parcela "Wischmeier" o desnuda de 100 m² que, además de su papel particular, reproduce el estado de superficie del suelo que se observa en el sitio campesino al inicio del cultivo o luego de la cosecha.

Cada parcela desemboca en un sistema de tanques donde diariamente son recolectados y medidos los sedimentos y el escurrimiento

Los suelos

Se caracterizan por:

- una débil diferenciación de los horizontes (A, AB, C);

- una profundidad media de 30-50 cm, (limitados por un nivel endurecido entre 30 y 50 cm);

- un horizonte humífero (mólico), cuyo poco espesor obviamente se debe a fenómenos de erosión. En condición de cultivo liviano puede tener un espesor y una tasa de materia orgánica importante;

- la presencia de vidrios y minerales alofánicos a veces en superficie, lo que según la clasificación USDA (Colmet Daage, 1973) les definen como Durandept integrado a Durustoll.

Perfil

Presentan en perfil:

- un horizonte humífero de 5 a 10 cm de

espesor, de color café-amarillento, de textura franca a franco-limosa, la estructura es monoparticular con pocos terrones muy débiles. Pasa de forma gradual a;

- un horizonte de 15 a 35 cm de espesor, más claro, amarillo-tomate, de similar textura, mono-particular sin elementos gruesos, de forma brutal, subrayado a veces por la presencia de elementos calcáreos; pasa a;

- un material amarillento claro (muy endurecido en estado seco) que presenta rayas de algunos centímetros dejadas por el paso de un arado; por sus características de dureza, densidad y presencia de las bolas dejadas por los escarabajos fósiles es evidentemente una cangahua.

Los mismos horizontes superficiales humíferos se han constituido a costa de la cangahua. Aquí no queda casi nada de los horizontes negros arcillosos llamados localmente "chocoto" que se observan en la misma posición geomorfológica en una plantación de cítricos 200 m más al sur.

Endurecida la cangahua es estéril, por esta razón, en caso de no tener horizontes superficiales, es indispensable ablandarla, manualmente o con arados profundos hasta tener una profundidad que permita cultivarla con rendimientos satisfactorios. Es por eso que los resultados que daremos e interpretaremos a continuación se refieren a la cangahua recuperada.

El clima

El clima presenta caracteres bastante particulares:

- un clima ecuatorial de montaña con temperaturas anuales templadas, de un promedio de 16° C con poca diferencia entre los diferentes meses y una insolación elevada de 2,000 horas al año;

- una fuerte variabilidad climática interanual (en los cinco años de medidas el mínimo de los totales anuales observados ha sido de 450 mm² en tanto que el máximo supera 750 mm). También es fuerte la variabilidad intermensual (octubre mes clave para los arados y sembrados recibió 65 mm en 89-90, 214 mm en 90-91 sea tres veces más);

Cuadro 5. Totales mensuales y anuales de las lluvias en milímetros (1986-91).

	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	Prome- dio
sept	63	41	45	0	43	39
octu	93	139	65	69	214	116
novi	63	10	86	30	18	41
dicie	53	54	39	0	47	39
ener	65	53	55	31	92	59
febr	40	46	54	69	39	49
marz	41	20	89	58	89	59
abri	115	152	20	90	52	86
mayo	97	94	112	50	112	93
juni	42	51	40	19	40	38
juli	0	22	23	11		14
agos	17	25	0	62		26
Total	688	707	627	487	746	659

- totales medios anuales de 660 mm, una larga temporada lluviosa de octubre a junio entrecortada por una temporada seca (o menos lluviosa) de diciembre a febrero, durante la cual se establece un déficit hídrico que afecta a todos los cultivos. Los meses de junio a septiembre (verano) se caracterizan por vientos fuertes y muy secos que soplan del medio día hasta las 5 de la tarde y alturas de lluvia débiles, a pesar de

eso pueden ocurrir importantes aguaceros acompañados de granizos. Según las normas de la clasificación USDA prevalecen condiciones francamente "ústicas". En el Cuadro 5 se ilustra estas condiciones.

Los Resultados

Los resultados que nos interesan se refieren respectivamente al escurrimiento, las pérdidas de tierra y las intensidades de lluvia que provocan los mismos.

El escurrimiento

El coeficiente de escurrimiento de agua (CE%) es un dato que varía mucho de un año a otro y de una lluvia a otra. La variabilidad interanual es importante y depende del tipo de parcela: desde el 1.5 hasta el 8.9% en el caso de la parcela mejorada, 5 a 14% para la parcela tradicional, 10 a 35% en la parcela Wischmeier mientras que los volúmenes escurridos para cada parcela son respectivamente de 150 m³, 500 m³ y 1,250 m³ (Cuadro 6).

Cuadro 6. Escurrimiento para cada tipo de parcela (1986-1991).

		Año	86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	Total
Lluvia total anual			688.0	707.0	627.0	487.0	746.0	659.0
Parcela mejorada	Total escurri. (m ³ /ha)		104.9	55.2	382.2	116.5	71.8	146.1
	CE anual (%)		2.4	1.5	8.9	3.7	1.9	3.8
	CE max		13.6	15.3	54.9	8.6	9.4	
	Núm. escurri. > 10%		1	1	2	0	0	
Parcela tradicional	Total escurri. (m ³ /ha)		251.5	311.8	539.3	391.7	586.6	416.2
	CE anual (%)		4.7	7.5	13.7	7.7	9.3	8.4
	CE max		21.8	31.1	36.4	41.1	55.9	
	Núm. escurri. > 10%		2	5	3	3	7	
Parcela Wischmeier	Total escurri. (m ³ /ha)		453.8	1085.9	1866.5	1507.6	1372.3	1257.2
	CE anual (%)		10.2	20.3	33.7	29.2	21.6	23.4
	CE max		22.4	61.1	88.8	85.1	78.8	
	Núm. escurri. > 10%		6	13	14	13	17	

Los coeficientes de escurrimiento máximos (CE max) son bien superiores: en el caso de la parcela mejorada alcanzan el 20% (una vez 55%) pero sobrepasan el 10% una o dos veces al año, llegan a 20% y 55% en la parcela tradicional, pasando de 2 a 7 veces al año el 10%. En el caso de la parcela Wischmeier se registraron valores del 80% mientras tanto de 6 a 17 veces al año el CE supera el 10%.

Por mes, se agruparon las cantidades de agua escurrida durante los 5 años de observación para cada tipo de parcela (Cuadro 7). Se puede anotar diferencias marcadas entre las parcelas según los meses.

- en la parcela mejorada, el escurrimiento es importante en septiembre-octubre (37% del escurrimiento total anual); durante estos meses el coeficiente de escurrimiento (CE) no supera el 5%; durante el mes de mayo, que totaliza el 36% del escurrimiento anual, el CE se mantiene al mismo nivel del 6%;

- en la parcela tradicional cultivada tiene un comportamiento similar al de la parcela mejorada con CE superiores: 12% en octubre y mayo;

- frente al escurrimiento, la parcela Wischmeier reacciona de forma inmediata a la cantidad total de lluvia caída con CE bastante elevados que superan el 10%, siete meses al año.

A pesar de estas diferencias entre parcelas, hay

que resaltar los siguientes comentarios:

- en un medio climático caracterizado por un déficit de agua casi permanente, es sobre la parcela mejorada que se observa los volúmenes de agua escurrida y los CE más bajos. La retención de una cantidad básica de agua para el cultivo es uno de los objetivos claves del estudio;

- para las tres parcelas, es durante los meses de julio y agosto, que son los menos lluviosos y con un estado de superficie del suelo altamente susceptible a la erosión, que el CE es mayor. Se desprende de este análisis que no hay correlación entre las alturas de lluvia, el agua escurrida y el CE, cualquiera que sea el tipo de parcela;

En los suelos de cangahua recuperada de Tumbaco, a pesar de tener pocos eventos de consideración por año, los resultados logrados desde 1986 en las parcelas Wischmeier y tradicional hacen temer la eventualidad de llegar a una situación alarmante sin retorno posible; aún más en un país donde pueden ocurrir eventos aleatorios y catastróficos como el fenómeno del Niño (De Noni *et al.*, 1987). A pesar de ablandar a medida la capa dura, parece como si dicha capa estaría más y más cerca de la superficie. Por no usar obras de conservación en las áreas recuperadas, el campesino está confrontado a una especie de lucha contra el tiempo: por un lado se recupera la cangahua, y por otro lado se pierde tierra y aflora más y más la cangahua dura.

Cuadro 7. Escurrimiento promedio mensual para cada tipo de parcela (1986-1991).

	Parcela mejorada			Parcela tradicional		Parcela Wischmeier	
	Lluvia mm	Escurre. m ³ /ha	CE %	Escurre. m ³ /ha	CE %	Escurre. m ³ /ha	CE %
sept	38.7	22.5	5.8	29.0	7.5	60.3	15.6
octu	115.8	33.7	2.9	144.2	12.5	331.3	28.7
novi	41.3	4.9	1.2	20.0	4.8	129.3	31.3
dicie	38.6	0.4	0.1	1.8	0.5	20.3	5.3
enero	59.1	0.7	0.1	2.9	0.5	41.6	7.0
febrero	49.4	0.5	0.1	5.8	1.2	43.8	8.9
marzo	59.4	4.9	0.8	36.0	6.1	98.7	16.6
abril	85.8	1.9	0.2	8.2	1.0	111.9	13.0
mayo	92.8	54.7	5.9	115.3	12.4	299.7	32.3
junio	38.5	0.6	0.2	15.0	3.9	28.6	7.4
julio	13.7	24.5	17.9	5.5	4.0	26.1	19.1
agosto	25.9	2.2	0.8	43.4	16.8	96.5	37.3
Total	659.0	151.5	2.3	427.1	6.5	1288.7	19.6

Este tipo de proceso es bastante alarmante porque cuando el agua pasa la capa de suelo recuperado, la energía del escurrimiento se vuelve muy veloz sobre la cangahua dura. Pudimos comprobar esta dinámica utilizando la simulación de lluvia con el infiltrómetro tipo Asseline-Valentin (1978). Las mediciones se realizaron sobre cangahua endurecida a lado de las parcelas, con pendientes del 10-12%. Se calculó que los coeficientes de escurrimiento estabilizados eran de 80% para lluvias de 20 mm/h de intensidad y del 91% con intensidad de 60 mm/h, la estabilización a estos valores se consigue en forma rápida y siempre en menos de 10 minutos. El escurrimiento es casi siempre limpio, hecho que no tendría mayor importancia si las aguas limpias al llegar a los materiales blandos aguas abajo no provocarían los graves estragos y las formas de erosión descritas anteriormente.

Las pérdidas de tierra

Las pérdidas de tierra son importantes. En el Cuadro 8 se nota que si en la parcela mejorada se observan pérdidas inferiores a 1 ton/ha desde los cuatro últimos años sin mucho cambio interanual (el promedio es en realidad de 4 provocado por una sola lluvia al inicio del estudio cuando la parcela y las bandas encepadas recién instaladas

no tenían la menor eficacia). Transformado en lámina de suelo, las pérdidas promedio representan cada año 0.1 mm ó en el peor de los casos 0.4 mm lo que parece ser admisible mientras tanto se mantenga la producción; para la parcela tradicional, las pérdidas promedio se sitúan en 19 ton/ha con una gran variabilidad interanual, además se alcanzan niveles de pérdidas demasiado elevados que coinciden con una producción inferior a la observada en la parcela mejorada. Expresado en lámina lo perdido, da 2 mm por año. En el caso de la parcela Wischmeier las pérdidas anuales son de 92 ton/ha, que representan un espesor de 1 cm. Se verifica que en 86-87 su comportamiento es parecido a la parcela mejorada y que en 87-88 se acerca a la parcela tradicional. Por esta razón se conservó esta parcela que permite explicar algunos resultados aparentemente incoherentes.

En el Cuadro 8, se nota que la carga promedio de tierra en el agua escurrida aumenta desde la parcela mejorada (sin tomar en cuenta el primer año), a la parcela tradicional y a la parcela Wischmeier, respectivamente, 7, 46 y 73 kg/m³.

Las relaciones sedimentos en suspensión / tierra de fondo son de 0.3, que representan valores bajos en comparación con la tierra en su sitio y los sedimentos arrastrados.

Cuadro 8. Pérdidas de tierra, suspensión y tierra de fondo (1986-1991).

Año		86-87	87-88	88-89	89-90	90-91	Total
Lluvia total anual		688.0	707.0	627.0	487.0	746.0	659.0
Parcela mejorada	CE anual (%)	2.4	1.5	8.9	3.7	1.9	3.8
	Suspensión (ton/ha)	1.3	0.3	0.4	0.8	0.5	0.7
	Tierra fondo (ton/ha)	18.4	0.2	0.2	0.0	0.2	3.8
	Tierra total (ton/ha)	19.7	0.4	0.6	0.8	0.7	4.4
Parcela tradicional	CE anual (%)	4.7	7.5	13.7	7.7	9.3	8.4
	Suspensión (ton/ha)	5.4	6.8	3.5	4.6	4.2	4.9
	Tierra fondo (ton/ha)	19.6	36.7	3.6	1.2	10.9	14.4
	Tierra total (ton/ha)	25.0	43.5	7.1	5.8	15.1	19.3
Parcela Wischmeier	CE anual (%)	10.2	20.3	33.7	29.2	21.6	23.4
	Suspensión (ton/ha)	27.0	21.5	29.1	15.4	14.7	21.5
	Tierra fondo (ton/ha)	42.7	80.6	48.1	78.9	102.5	70.6
	Tierra total (ton/ha)	69.8	102.2	77.2	94.3	117.3	92.1

Cuadro 9. Pérdidas mensuales de tierra (1986-1991).

	Lluvia mm	Parcela mejorada		Parcela tradicional		Parcela Wischmeier		Número de eventos mayores	Trabajos	Calendario agrícola
		CE %	Perd. ton/ha	CE %	Perd. ton/ha	CE %	Perd. ton/ha			
sept	38.7	5.8	3.8	7.5	3.7	15.6	9.5	1	arado	Siembra maíz
octu	115.8	2.9	0.3	12.5	10.4	28.7	29.9	4		
novi	41.3	1.2	0.1	4.8	0.6	31.3	6.9	3		
dicie	38.6	0.1	0.0	0.5	0.0	5.3	1.9	1	Primera limpieza-aporque	Floración
enero	59.1	0.1	0.0	0.5	0.0	7.0	1.9	1		Floración
febre	49.4	0.1	0.0	1.2	0.1	8.9	3.4	1		
marzo	59.4	0.8	0.1	6.1	1.9	16.6	12.0	1	Segunda limpieza-aporque	
abril	85.8	0.2	0.0	1.0	0.1	13.0	2.4	2		
mayo	92.8	5.9	0.1	12.4	1.3	32.3	16.4	4		Cosecha maíz
junio	38.5	0.2	0.0	3.9	0.6	7.4	6.3	0	Tercera limpieza-arado liv.	Siembra avena
julio	13.7	17.9	0.0	4.0	0.1	19.1	0.5	1		
agosto	25.9	0.8	0.1	16.8	0.6	37.3	5.5	1		Cosecha avena
Total	659.0	2.3	4.5	6.5	18.9	19.6	96.6			

En el Cuadro 9 se indican las pérdidas de tierra (Susp. + Fondo) mes a mes, lo que permite apreciar la eficacia del grado de desarrollo del cultivo. El suelo recientemente arado y sembrado es bastante frágil. Para luchar contra la erosión en este momento crítico es necesario haber desarrollado obras que completen el efecto de un arado (sin pulverizar) que favorece la infiltración reduciendo el escurrimiento. En la parcela mejorada se logra este propósito sobre todo cuando la vegetación llega a su completo desarrollo. En la parcela tradicional se notan ligeras pérdidas que acompañan las lluvias de marzo-mayo. Sin alcanzar valores fuertes se pueden apreciar las pérdidas de los típicos meses secos de julio y agosto.

Como se dijo anteriormente los fenómenos erosivos: escurrimiento y pérdidas de tierra no logran explicarse por los totales de lluvia en las parcelas mejoradas y tradicional. En consecuencia, se puede deducir que son las intensidades y su respectiva duración las que mejor expresan la cantidad de lluvia escurrida, los coeficientes de escurrimiento (CE) y las pérdidas de tierra.

Las intensidades

Existen muy buenas relaciones (De Noni *et al.*, 1984) entre las pérdidas de tierra y las intensidades máximas en un tiempo determinado

15, 30 y 60 minutos (señaladas de forma convencional IM15, IM30 e IM60) pues estos parámetros expresan la agresividad climática. Por el tipo de lluvia presente en Ecuador y por el tipo de pluviógrafo más común en el país, se decidió utilizar las intensidades máximas en 15 y 30 minutos.

Las intensidades son medianamente importantes: cada año se observan intensidades máximas en IM15 que alcanzan 80 mm/h y IM30 que pasan 40 mm/h hasta llegar a 55 mm/h. El Cuadro 10 muestra el número de eventos por clase de intensidades; se nota el poco número de eventos de fuertes intensidades que pueden provocar escurrimiento y por consecuencia una notable erosión. Cada año, hay menos de 10 lluvias que, a la vez, superan 25 mm/h y tienen una duración de media hora. Estas 10 lluvias representan menos del 10% del conjunto de las lluvias.

Al seleccionar durante todo el periodo de investigación (5 años) los cinco eventos erosivos de mayor importancia, se observa que todos se refieren a lluvias de intensidad superiores a 15 mm/h que además a excepción de una sola, tuvieron una duración superior a 30 minutos. Además se puede comprobar que estos cinco eventos mayores representan el 85 hasta el 99% de las pérdidas de tierra (De Noni *et al.*, 1986 y 1990).

Cuadro 10. Intensidades clasificadas 1986-1990.

Intens.	IM 30 (mm/h)			
	86-87	87-88	88-89	89-90
0*	38	37	20	22
0-5	86	88	60	74
5-10	32	22	19	16
10-15	6	8	13	9
15-20	9	8	3	6
20-25	3	1	1	4
25-30	1	2	1	2
30-35	0	0	2	1
35-40	0	0	1	1
40-45	1	2	0	1
45-50	1	0	0	0
50-55	0	1	0	0
55-60	0	0	0	1
60-65	0	0	0	0
65-70	0	0	0	0
70-75	0	0	0	0
75-80	0	0	0	0
80-85	0	0	0	0
85-90	0	0	0	0
Total	177	169	120	137
Max.	46.2	53.8	39.2	56.2

Intens.	IM 15 (mm/h)			
	86-87	87-88	88-89	89-90
0*	16	10	5	5
0-5	86	102	53	75
5-10	40	22	26	20
10-15	12	10	13	9
15-20	10	9	7	9
20-25	3	5	6	4
25-30	2	2	2	3
30-35	4	3	3	1
35-40	1	1	0	5
40-45	1	2	0	3
45-50	0	0	0	0
50-55	0	1	3	0
55-60	0	0	0	1
60-65	0	0	0	1
65-70	0	0	0	1
70-75	1	1	0	0
75-80	1	1	0	0
80-85	0		0	0
85-90	0		1	0
Total	177	169	120	137
Max.	77.2	78	135.2	66

* en esta clase se encuentran las lluvias que no duraron 15 y 30 minutos, respectivamente

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden sacar del estudio son que la cangahua dura o ablandada es bastante susceptible a la erosión hídrica por escurrimiento, la misma que es activada por lluvia caracterizada por una intensidad y una duración. A pesar de que los eventos no sean tan fuertes y de poca ocurrencia, el escurrimiento como la erosión sobrepasan lo admisible lo que puede explicar el paisaje bastante degradado de la zona. Sin embargo, en parcela mejorada y en buenas condiciones de cultivo, las pérdidas de tierra se quedan a niveles admisibles conforme con una agricultura sostenida.

Si un uso tradicional en el marco de un parcelario bastante dividido que frena y limita el

escurrimiento es viable, se observan malas experiencias con las operaciones de recuperación con uso de material agrícola pesado: arado profundo de 60 cm de profundidad, pulverización de los terrones hasta tener un suelo disgregado con pocos terrones. La materia orgánica traída (desechos de gallina mezclado con aserrín) mal incorporada con el suelo, no le da la cohesión esperada. La longitud excesiva de los lomos favorece un escurrimiento según las curvas de nivel, al aumentar el caudal se rompen los lomos, el escurrimiento se acelera según la pendiente y se forman cárcavas que se paran al límite de la cangahua dura. Con el tiempo las cárcavas se ensanchan y se reúnen mientras tanto la erosión regresiva sigue muy activa; luego de algunos años, la cangahua dura reaparece y se extiende en el campo.

LITERATURA CITADA

ASSELIN, J. y C. VALENTIN. 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion, Cah. ORSTOM, sér. hydrol. 15 (4): 321-349.

ALMEIDA, G., G. DE NONI, J. F. NOUVELOT, G. TRUJILLO y A. WINCKELL. 1984. Los principales procesos erosivos en Ecuador, PRONAREG-PRONACOS-ORSTOM, Quito. 31 p. y mapa del país a escala 1/1000.000.

COLMET-DAAGE, F. 1973. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques, Parties 1 à 4, Publications ORSTOM-Antilles n° 78.

COLMET-DAAGE, F. y C. ZEBROWSKI. 1982-84. Mapas de suelos de la Sierra ecuatoriana, escala 1/200.000. Convenio MAG-ORSTOM, Quito, Ecuador.

DE NONI, G. 1982. Análisis cualitativo de tres procesos de erosión en la Sierra volcánica del Ecuador, CEDIG-ORSTOM, Doc. de investig. 2: 39-54, Quito, Ecuador.

DE NONI, G., J.F. NOUVELOT y G. TRUJILLO. 1984. Erosion and conservation of volcanic ash soils in the highlands of Ecuador: a case study, part. 1. pp. 263-274. *In*: 6th International Soil Classification Workshop, Chile and Ecuador, SMSS (Washington), PUCC (Santiago de Chile).

DE NONI, G., G. TRUJILLO y M. VIENNOT. 1986. L'érosion et la conservation des sols en Equateur, Cah. ORSTOM, sér. pédologie 22 (2): 235-245.

DE NONI, G., M. VIENNOT y G. TRUJILLO. 1990. Mesures de l'érosion dans les Andes de l'Equateur, cah. ORSTOM, sér. Pédologie 25 (1-2): 183-197.

DE NONI, G., P. POURRUT y M. VIENNOT. 1987. Analyse de l'impact du "Niño" 1982-83 sur le milieu morpho-dynamique instable de l'Equateur, pp. 157-168. *In*: Colloque Climats et risques naturels. CNRS-AFGP, Paris, France.

DERRUAU, M. y G. DE NONI. 1979. Sur la géomorphologie des pyroclastites dans les Andes de l'Equateur, cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum. 16 (3): 251-259.

SAUER, W. 1965. Geología del Ecuador, Editorial del Ministerio de Educación, Quito, Ecuador. 383 p.

WOLF, T.H. 1975. Geografía y Geología del Ecuador, Ed. de la Casa de la Cultura Ecuatoriana, Quito, Ecuador. 798 p.