

Páramo

Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado

Selección de textos de la Serie Páramo, órgano de difusión
del Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador (GTP)

Patricio Mena Vásconez · Anabel Castillo · Saskia Flores · Robert Hofstede
Carmen Josse · Sergio Lasso B. · Galo Medina · Nadya Ochoa · Doris Ortiz

Editores

Páramo

Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado

Selección de textos de la **Serie Páramo**, órgano de difusión del
GRUPO DE TRABAJO EN PÁRAMOS DEL ECUADOR (GTP)

Edición a cargo de:

Patricio Mena Vásconez

Anabel Castillo

Saskia Flores

Robert Hofstede

Carmen Josse

Sergio Lasso B.

Galo Medina

Nadya Ochoa

Doris Ortiz



Una coedición de
ECOCIENCIA, EDITORIAL UNIVERSITARIA ABYA-YALA y ECOBONA

Octubre 2011

El **Grupo de Trabajo en Páramos del Ecuador** (GTP) es una plataforma informal, multidisciplinaria y abierta de instituciones y personas con interés en el conocimiento, la conservación, el manejo, las políticas y la socioeconomía del páramo. Desde 1997 se llevan a cabo reuniones trianuales en las que se presentan, discuten y analizan temas relacionados con los páramos en el país y la región. El GTP ha sido coordinado desde sus inicios por EcoCiencia. Los temas de las reuniones son consensuados por sus miembros, quienes hacen las presentaciones o, en su lugar, personas invitadas a hacerlo. De cada reunión se produce un número de la Serie Páramo, el órgano de difusión del grupo. La publicación de la Serie ha sido realizada en coedición con Editorial Abya-Yala desde el inicio.

EcoCiencia es una organización no gubernamental ecuatoriana fundada en 1989. Su misión es “Conservar la diversidad biológica mediante la investigación científica, la recuperación del conocimiento tradicional y la educación ambiental, impulsando formas de vida armoniosas entre el ser humano y la naturaleza”. Desde 1998 coordina el GTP y desde 1999 coedita con Abya-Yala la Serie Páramo, que es la base de esta publicación.

Editorial Abya-Yala puede ser considerada una de las mayores productoras de obras de Ciencias Sociales en Latinoamérica. En Ecuador, las publicaciones de Abya-Yala concentran el 70% de la producción editorial del país. Hoy, su catálogo alcanza más de 1.600 títulos que incluyen cerca de 4.500 artículos, de 2.000 autores, 320 de ellos indígenas. Desde 1999 ha coeditado con EcoCiencia la Serie Páramo del GTP.

ECOBONA es un Programa Regional Andino de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación Internacional (COSUDE), implementado en Bolivia, Ecuador y Perú por la Fundación Suiza para el Desarrollo y la Cooperación Internacional INTERCOOPERATION).

Por favor cite esta obra completa así:

Mena Vásconez, P., A. Castillo, S. Flores, R. Hofstede, C. Josse, S. Lasso, G. Medina, N. Ochoa y D. Ortiz (Eds.). 2011. Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado. EcoCiencia/Abya-Yala/ECOBONA. Quito.

Para cada artículo:

<<Autores/as>>. 2011. <<Nombre completo del artículo>>. En: P. Mena Vásconez, J. Campaña, A. Castillo, S. Flores, R. Hofstede, C. Josse, S. Lasso, G. Medina, N. Ochoa y D. Ortiz (Eds.). Páramo. Paisaje estudiado, habitado, manejado e institucionalizado. EcoCiencia/Abya-Yala/ECOBONA. Quito.

ISBN: 978-9942-09-016-4

Diseño, edición e impresión: Editorial Universitaria Abya-Yala

Portada: cuadro “El Altar” de Luis A. Martínez (ca. 1908).

Esta publicación está disponible en Abya-Yala y EcoCiencia

GTP (coordinado por EcoCiencia)
Pasaje Estocolmo E2-166 y Amazonas
(Sector El Labrador)
Telfs. 2410781 — 2410791
gtpcuador@ecociencia.org
www.paramosecuador.org.ec
Quito, ECUADOR

Editorial Universitaria Abya-Yala
Av. 12 de Octubre 1430 y Wilson
Casilla 17-12-719
Telfs. 2506251 — 2506247
editorial@abyayala.org
www.abayala.org
Quito, ECUADOR

Presentación	7
Agradecimiento	13

SECCIÓN 1: EL PÁRAMO ESTUDIADO

<i>Introducción: El páramo estudiado</i>	19
<i>Esteban Suárez</i>	
La flora de los páramos ecuatorianos	25
<i>Susana León-Yáñez</i>	
La agrobiodiversidad en los ecosistemas de páramo: una primera aproximación a su inventario y su situación actual	41
<i>Carlos Nieto C. y Jaime Estrella E.</i>	
Los suelos de los páramos de Ecuador	63
<i>Pascal Podwokewski y Jérôme Poulenard</i>	
Hidrología del páramo: importancia, propiedades y vulnerabilidad	81
<i>Bert De Bièvre et al.</i>	
Plantaciones forestales y producción de servicios ambientales	99
<i>Kathleen A. Farley Wolf</i>	
Un análisis geoespacial y estadístico preliminar de la actividad minera en los páramos de Ecuador	113
<i>Alexandra Velástegui y Víctor López A.</i>	



SECCIÓN 2: EL PÁRAMO HABITADO

<i>Introducción: El páramo habitado</i>	129
<i>Rossana Manosalvas</i>	
Análisis de género y el manejo de páramo: una exploración de las necesidades y potencialidades	135
<i>Susan Poats</i>	
Particularidades culturales de la gente de montaña	155
<i>Jorge León T.</i>	
Las expresiones musicales en los páramos ecuatorianos	167
<i>Juan Manuel Carrión</i>	
La gestión andina de los páramos: el caso de Patococha, Cañar, Ecuador	173
<i>Marco Pichisaca y Cesario Guamán</i>	
La asociación de productores de plantas medicinales Jambi Kiwa en Chimborazo	187
<i>Rosa Guamán</i>	
Comunidad y área protegida: la experiencia de manejo de los páramos de Asaraty	195
<i>Rafael Ushca</i>	
El turismo en Oyacachi: mucho más que aguas termales y paisaje	199
<i>Saskia Flores y Héctor Parión</i>	
La experiencia de la comuna Zuleta, provincia de Imbabura	209
<i>José Alvear</i>	

SECCIÓN 3: EL PÁRAMO MANEJADO

<i>Introducción: El páramo manejado</i>	215
<i>Bert De Bièvre</i>	
Metodologías aplicadas para el manejo y conservación de los páramos con énfasis en el agua: la experiencia de ETAPA	221
<i>Paul Turcotte et al.</i>	



Mecanismos relacionados con servicios ambientales como una herramienta para la conservación de los páramos	231
<i>Montserrat Albán</i>	
Páramos en áreas protegidas: el caso del parque nacional Llanganates	247
<i>Miguel Á. Vázquez</i>	
Una visión general del ecoturismo en los páramos de Ecuador	261
<i>Érica Narváez</i>	
El manejo social y técnico de los páramos de Quisapincha	269
<i>Amado Martínez</i>	
Experiencia comunitaria en el manejo de recursos naturales altoandinos: el caso de la Asociación Pasguazo Zambrano en la provincia de Chimborazo	277
<i>Kelvin Cueva R.</i>	
Zhincata, ¿un nuevo gran lago en los Andes?	283
<i>Patricio Mena Vásconez</i>	

SECCIÓN 4: EL PÁRAMO INSTITUCIONALIZADO

<i>Introducción: La institucionalización del páramo.</i>	295
<i>Sergio Lasso B.</i>	
El Ecuador requiere de un instrumento legal para promover la conservación de sus páramos	301
<i>Manolo Morales y Silvana Rivadeneira</i>	
Los servicios del ecosistema páramo: una visión desde la evaluación de ecosistemas del milenio	315
<i>Robert Hofstede</i>	
Los páramos ecuatorianos y el tratado de libre comercio con Estados Unidos	331
<i>Carlos Larrea</i>	
El Parque Nacional Sangay y la carretera Guamote-Macas	337
<i>Miguel Á. Acuña</i>	



La experiencia de manejo de los páramos en la Reserva Ecológica Cayambe-Coca	353
<i>Luis Martínez</i>	
<i>Colofón: El reto para la conservación y manejo de los páramos en Ecuador</i>	<i>361</i>
<i>Domingo Paredes</i>	
Editores/as	373
Índice de materias	375



LOS SUELOS DE LOS PÁRAMOS DE ECUADOR¹

PASCAL PODWOJEWSKI²

JÉRÔME POULENARD³

[M]ás abajo todavía, en otra zona de unas 300 toesas de altura, el terreno está de ordinario cubierto de un fuerte gramen abierto que sube hacia un pie y medio o dos pies y que se llama uchuc en la lengua de los Incas. Esta especie de heno o paja, como se la llama en el país, es la característica propia que distingue las montañas que los españoles llaman páramos. No dan este nombre, al menos en América del Sur, más que a las tierras incultas de un terreno demasiado alto para que los bosques crezcan allí y donde la lluvia no cae sino en forma de nieve, aunque se funde casi enseguida.

Charles Marie de La Condamine, 1738

Entre el límite superior de altura de los bosques andinos (3.000-3.500 m) y el límite inferior de las nieves (4.800-5.000 m), toma lugar, en los Andes septentrionales y ecuatoriales, un medio particular: el páramo. Estos prados de altura (*Neotropical alpine grasslands*), dominados por gramíneas formadoras de penachos, se enfrentan a un clima rudo: el promedio de las temperaturas anuales es bajo, hay una alta humedad a pesar de las precipitaciones moderadas y una débil evaporación. En tal entorno climático y altitudinal se desarrolla un tipo de vegetación muy particular que presenta un alto grado de endemismo. En primer lugar, resulta que este medio está definido por la presencia de algunas asociaciones vegetales típicas. Pero dentro del nombre genérico de pá-

1 Serie Páramo 5: Suelos (2000). Éste es el texto original.

2 Director de investigación; IRD, Francia; pascal.podwojewski@ird.fr

3 Maître de conférences en sciences du sol; Université de Savoie, Francia; Jerome.Poulenard@univ-savoie.fr



ramo existe una fuerte diversidad, tanto a nivel botánico como en lo concerniente a las condiciones climáticas y edafológicas. En Ecuador los páramos cubren una superficie de 12.560 km², que representa un 5% del territorio nacional y que aseguran el aprovechamiento de agua para la mayor parte de la población de la Sierra ecuatoriana (Proyecto Páramo 1999). Esta fuente de agua se debe principalmente a los suelos de los páramos que tienen una capacidad de regulación de los flujos de agua y permiten su aprovechamiento permanente.

Hay pocos estudios sobre los suelos de los páramos. En las publicaciones se encuentran diferentes definiciones. El trabajo del IRD está enfocado sobre sitios representativos de diferentes tipos de suelos en los páramos de Ecuador y propone hacer una síntesis de los suelos presentes en esta zona (Figura 1).

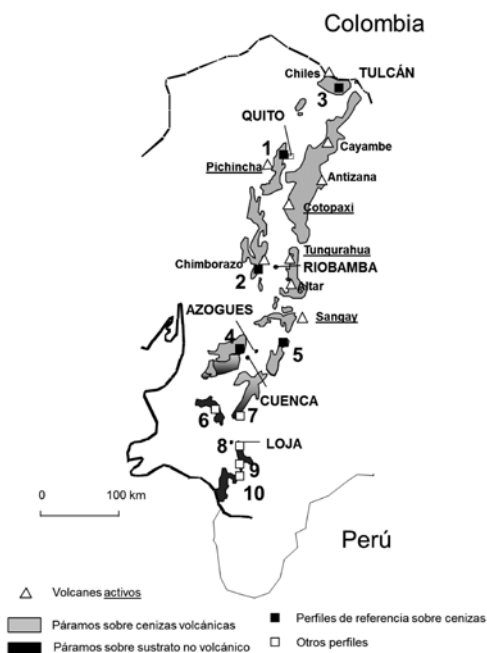


Figura 1. Los suelos de páramo de Ecuador (modificado por Pascal Podwojewski de la versión original)

En Ecuador, los páramos cubren la parte superior de las dos cordilleras que corren en sentido norte-sur. La distribución de los páramos en escalonamientos alrededor de las cumbres andinas más altas produce una discontinuidad de ese medio. Esta, ligada a la distribución compleja de las condiciones climáticas sobre cada una de esas cumbres, es el origen de la diversidad de los páramos.

A pesar de esa diversidad, cierto número de caracteres comunes puede ser encontrado en el conjunto de los diferentes tipos de páramos. El más grande denominador común reside en la presencia de especies herbáceas formadoras de penacho como *Calamagrostis* y *Festuca* spp. que, en algunos lugares, presentan una cobertura vegetal próxima al 100%.

Condiciones de formación de los suelos

Las condiciones de formación de los suelos dependen de tres factores principales que son el clima, la roca madre y la edad de los suelos. El clima es común a la mayor parte de los páramos de Ecuador. Es el principal factor de la pedogénesis (es decir, el proceso de formación de suelos) pero la diferenciación de los suelos de páramos se debe principalmente a la diferencia de roca madre entre el norte y el sur del país. Esta diferencia determina dos grupos de suelos distintos.

El tipo de roca madre

Más de cien volcanes (cinco de ellos en actividad) emergen de estas cordilleras en su parte norte. Estos volcanes generan dos áreas totalmente distintas que diferencian los suelos de los páramos: los suelos sometidos a las actividades volcánicas recientes y la zona que no ha tenido esta actividad.

Roca madre de origen volcánico

Estos depósitos son del Cuaternario reciente, por lo que son muy nuevos; sin embargo, su alterabilidad es muy grande. Hay muchas formas de depósitos volcánicos como lavas, flujos piroclásticos, lahares, etc. Pero la forma dominante que cubre la mayor parte de los páramos



son depósitos de cenizas, la pilli y piedra pómez que se diferencian por su tamaño. Estos depósitos se distribuyen en función de la distancia al punto de emisión y de la dirección de los vientos. En Ecuador, para las partículas más finas, la dirección de extensión máxima está orientada al suroeste (Winckell et al. 1991a). Mientras más finos son los depósitos, mayor es la superficie específica y mayor la cinética de alteración. Entonces, para piroclastos de la misma edad, las cenizas se ubican más lejos de su punto de emisión, son más finas y más alteradas. Esta distribución se llama **litosecuencia**.

La calidad química y mineralógica de los depósitos está en función del tipo de erupción volcánica. Los materiales como los piroxenos y anfíbulas, que liberan una gran cantidad de cationes útiles para las plantas, son mucho más alterables que el cuarzo (Winckell et al. 1991b).

Roca madre de origen no volcánico

Cuando no hay cobertura de cenizas, la roca madre está compuesta de muchos tipos de rocas que forman la base de la Cordillera Andina. Son rocas de tipo sedimentario con intercalación de eventos volcánicos antiguos y también rocas metamórficas en el sur del país. Su alteración es mucho más lenta que las cenizas volcánicas y el tipo de suelo se diferencia por la textura de la roca madre (maciza o con esquistosidad) y por su mineralogía. El suelo puede contener arcillas por herencia y la cantidad de minerales alterables va a determinar su evolución.

Condiciones climáticas

Las condiciones climáticas tienen marcadas consecuencias sobre la evolución de los suelos. Es así que la temperatura promedio baja y/o las condiciones de humedad definen la evolución de los suelos. **Generalmente los páramos tienen un clima frío y húmedo** (Pourrut 1994).

La temperatura

La temperatura es el factor principal. Esta baja entre 0,5 °C y 0,7 °C por cada 100 m de altitud (a partir de los 2000 m). La variación de



temperaturas es alta en el día (frecuentemente más de 15 °C con una radiación solar importante). A temperaturas medias bajas, la actividad biológica se reduce. Como consecuencia, la mineralización de la materia orgánica baja y eso permite su acumulación en grandes cantidades. La temperatura disminuye la velocidad de la alteración de la roca madre en parte por una disminución en la actividad de bacterias que incrementan la alteración meteorológica. Las cenizas del subpáramo, con temperaturas medias superiores a las del superpáramo más frío, tienen un grado de alteración más grande. Esta evolución de un mismo evento geológico en función del clima se llama **climatosecuencia**.

Los suelos de los páramos también han registrado las variaciones de temperatura que ocurrieron durante la última glaciación que terminó hace 12.000 años. En esa época el clima era más frío, pero también había mucho más viento que en los periodos actuales.

La humedad

La cantidad de lluvia en el páramo puede tener una variación importante (entre 500 y más de 3.000 mm/año). Más que la cantidad de lluvia es la humedad constante con las precipitaciones ocultas (neblina, lloviznas, etc.) lo que da al suelo una humedad permanente y permite su evolución rápida. Raramente la estación seca pasa de un mes. Hay zonas particulares que, por ubicarse fuera del alcance de los vientos amazónicos, reciben vientos fuertes de poca humedad que generan un microclima árido y forman la zona del “arenal”, particularmente al oeste del Chimborazo. En estas áreas, el desarrollo de los suelos es muy débil y se diferencia mucho de los otros páramos.

La edad de los suelos

Los suelos del sur que no se desarrollan sobre rocas madres volcánicas tienen una edad mucho mayor que la de los suelos sobre cenizas. Frecuentemente tienen una historia compleja debido a los cambios climáticos ocasionados por la tectónica o los eventos glaciares. En las cumbres, las últimas glaciaciones tuvieron un efecto de rejuvenecimiento de



todos los suelos. La edad de la capa de cenizas volcánicas y la sucesión de las capas condicionan el grado de evolución de los suelos. Generalmente, los suelos volcánicos son muy jóvenes y, contrariamente a todos los otros tipos de suelo, se rejuvenecen en su parte superior con cada caída de cenizas, mientras que en todos los otros tipos de suelo es la parte superior la que siempre evoluciona más.

La evolución de cada capa de cenizas volcánica depende del tiempo de exposición a los eventos climáticos que afectan la parte superior del suelo. Esta evolución de las cenizas en función de su edad se llama **cronosecuencia**.

Los suelos que se desarrollan sobre depósitos volcánicos

Las cenizas volcánicas cubren toda la parte norte de Ecuador hasta el sur de Cuenca y evolucionan según una **clima-crono-litosecuencia** a la escala del país, pero también a la escala de un área más reducida. En inglés, estos suelos se llaman *volcanicashsoils*. Las cenizas volcánicas, por efecto de su depósito y alteración, generan una difuminación de las formas del relieve. Las cimas son suavemente onduladas y rebajadas con cumbres anchas, redondas o aplanadas, de donde emergen localmente espinazos rocosos (Winckell y Zebrowski 1997). La pedogénesis de este tipo de suelo depende de diferentes factores (Colmet-Daage et al. 1967).

Las propiedades de los suelos que se desarrollan sobre depósitos volcánicos

El tipo general de suelo que se forma sobre las cenizas volcánicas es un ANDOSOL (Soil Survey Staff 1998), del japonés *Hondo*, que significa oscuro (Shoji et al. 1990 1993). Debido a la composición de los depósitos volcánicos con gran parte de vidrios, su alteración es muy rápida y conduce a la formación de complejos alumino-orgánicos y/o de minerales poco cristalizados como los alófanos y la imogolita. Los andosoles son suelos jóvenes con horizontes poco diferenciados.



Parámetros morfológicos

- El color general del horizonte superior es negro debido a la alta tasa de materia orgánica;
- La estructura es muy estable con microagregación y alta porosidad;
- Son suelos resistentes a la erosión, con una buena tasa de humedad y una gran permeabilidad que permite un buen desarrollo de las raíces.

Parámetros físicos

- La densidad aparente es muy débil (<0,9 a 0,3);
- La tasa de retención del agua es muy elevada (del 70% en los suelos vítricos hasta 200% en los andosoles no alofánicos en función del peso seco). Esta alta tasa de retención de agua a 100 KPa (pF 3) sirve como criterio de diferenciación en los mapas de suelos en Ecuador (PRONAREG-ORSTOM 1978-1985);
- Esta retención de agua es reversible hasta un punto; después, la sequía es irreversible. La alta tasa de capacidad de retención de agua es debida a la alta porosidad. Cuando el suelo se seca, este se retracta y el tamaño de los poros disminuye, lo que tiene como consecuencia una notable baja en la capacidad de retención de agua (Maeda et al. 1977, Nanzzyo et al. 1993) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje medio de retención de agua en algunos suelos de páramos (% de peso en función del suelo, secado a 105 °C)

Profundidad (cm)	Carchi (1)	Cañar (1)	Azuay (1)	Chimborazo (2)	Pichincha (3)	Loja (4)
0-20	235	225	210	98	68	75
20-50	165	195	115	85	55	85
50-70+	200	130		98	55	

- (1) andosol evolucionado, órgano-alumínico, rico en materia orgánica
 (2) andosol evolucionado, alofánico, rico en materia orgánica
 (3) suelo vítrico, muy joven, más pobre en materia orgánica
 (4) sustrato no compuesto de cenizas volcánicas recientes



Parámetros químicos

- Los andosoles **no tienen arcillas** mineralógicas bien cristalizadas. La presencia de minerales poco o no cristalizados está caracterizada por la extracción por oxalato en un medio ácido sobre tierra fina. $Alox + 2Fe_{ox} > 2\%$ caracteriza a un andosol típico mientras que un suelo con propiedades ándicas (vitrosol) tiene las siguientes propiedades: $0,4 \% < Al_{ox} + 2 Fe_{ox} < 2\%$;
- La presencia de aluminio en forma paracrystalina (aluminio-silicato uoxihidróxido) se diferencia del aluminio en complejo con la materia orgánica por la tasa de Al extraído por pirofosfato (Alpy) y Al extraído por oxalato (Alox): $Alpy/Alox > 0,5$ por los complejos aluminio-orgánicos;
- La tasa de **carbono orgánico** es muy alta. Son los suelos, después de los histosoles (turbas), que retienen la más alta cantidad de carbono. Esto se explica por el régimen de temperatura con promedio bajo y por la formación de complejos aluminio-orgánicos muy estables y parcialmente tóxicos para algunos microorganismos que descomponen la materia orgánica. Los andosoles ácidos de tipo no alofánicos tienen una capacidad de fijación de carbono más alta que los alofánicos. Esta materia orgánica se caracteriza por la presencia de ácidos húmicos con fuerte poder de coloración negra. Este proceso se llama melanismo. Este tipo de ácidos húmicos está relacionado con la presencia de gramíneas (Poaceae) en los páramos (Shoji et al.1990) (Cuadros 2 y 3);
- Los andosoles tienen **cargas variables** que dependen del pH. La capacidad de intercambio catiónico es función del pH del suelo. Cuando el suelo pierde sus cationes, su pH y su capacidad de retención de cationes baja al igual que su capacidad de retención aniónica se incrementa;
- Los andosoles tienen una alta tasa de **retención aniónica**, en particular los **fosfatos** y los **sulfatos**. La retención de fósforo es superior al 85%. Estas características limitan la eficiencia de la fertilización de los cultivos sobre los andosoles;



- En el campo, para determinar la presencia de andosoles se utiliza el test de Fieldes y Perrot (1966) con NaF 1M sobre la tierra y un papel impregnado de fenolftaleína. La velocidad de la coloración en rosado del papel indica la presencia representativa de aluminio (complejo y/o paracrystalino). Se pueden diferenciar así varios tipos de andosoles en el mapa de suelos de Ecuador (PRONAREG-ORS-TOM19781985).

Cuadro 2. Porcentaje medio de la tasa de carbono (g/100g) de algunos suelos de páramo

Profundidad (cm)	Carchi (1)	Cañar (1)	Azuay (1)	Chimborazo (2)	Pichincha (3)	Loja (4)
0-20	20,40	19,70	18,00	8,60	6,10	12,00
20-50	8,30	18,50	13,60	5,90	4,40	8,20
50-70+	15,00	5,40	8,70	7,20	2,70	0,75

(1) andosol evolucionado, órgano-alumínico, rico en materia orgánica

(2) andosol evolucionado, alofánico, rico en materia orgánica

(3) suelo vítrico, muy joven, más pobre en materia orgánica

(4) sustrato no compuesto de cenizas volcánicas recientes

Cuadro 3. Cantidad total de carbono (T/ha) de algunos suelos de páramo

Profundidad (cm)	Carchi (1)	Cañar (1)	Azuay (1)	Chimborazo (2)	Pichincha (3)	Loja (4)
A	463	466	364	479	356	239
B	864	676	364	717	567	239

A: primer metro del perfil

B: perfil estudiado entero

Los diferentes tipos de suelos que se desarrollan sobre depósitos volcánicos

En Ecuador ocurrieron dos episodios mayores de caídas de ceniza: las cenizas **recientes** (<10.000 años) aparecen en la superficie de todos los relieves de los páramos y moldean el paisaje con capas de espesor relativamente constante (Winckel et al. 1991a).



Las cenizas más **antiguas** (> 10.000 años) aparecen en alturas más bajas, en discordancia con las cenizas más recientes (Haly Mothes 1994). En alturas mayores a 3.550 m en el norte (El Ángel), 3.400-3.500 m en el centro y 3.250 m en el sur del país (Schubert y Clapperton 1990), las cumbres estaban cubiertas de nieve o de hielo, lo que significa que las cenizas volcánicas que se depositaron ya no permanecen allí. En este caso, en la base de las cenizas recientes se desarrollan estructuras típicas de ambiente glaciario como una reorganización de las piedras en líneas horizontales y mezcla de cenizas con piedras debido a flujos de hielo o de lodo asociados al derretimiento del hielo. También las cenizas antiguas pueden aparecer en bolsas cerca de algunas quebradas. Cuando se disminuye de altitud estas cenizas antiguas se transforman rápidamente en capas un poco endurecidas y con neoformación de arcillas de tipo halosita. Estas capas son un freno a la colonización del perfil por las raíces de las plantas.

Dos parámetros mayores permiten clasificar los andosoles. Según la clasificación americana (Soil Survey Staff 1998) el parámetro climático de temperatura es preponderante seguido por el parámetro de drenaje (régimen de agua). La clasificación WRB (Shoji et al. 1996) y el Referencial Francés (Quantin 1995) clasifican los suelos según sus propiedades mineralógicas y químicas, que también están relacionadas con el clima.

El parámetro climático

Se usan los siguientes regímenes de temperatura del suelo para definir las clases de taxonomía:

El régimen de temperatura: su cambio es debido a la altitud de los páramos. Puede ser un parámetro edafológico para diferenciar los páramos de los superpáramos.

Crítico: los suelos en este régimen tienen una temperatura media anual mayor a 0 °C pero menor a 8 °C a 50 cm de profundidad. Desde la parte de arriba hasta abajo tenemos los vitricryands, haplocryands y melanocryands.



Mésico: los suelos en este régimen tienen una temperatura media anual mayor a 8 °C pero menor a 15 °C a 50 cm de profundidad. Cuando esta temperatura difiere en menos de 5 °C al año, se utiliza el término de isomésico. Todos estos suelos en Ecuador son melanudands: tipicmelanudand e hydric melanudand para los suelos no alofánicos, que son los más evolucionados.

El régimen de agua: este se debe a la cantidad y a la repartición anual de la lluvia y también al drenaje de los suelos:

Ácuico: suelo saturado por un nivel freático o por agua de ascenso capilar. *Es el caso de los pantanos.*

Údico: el suelo no está seco por un periodo tan largo como 90 días acumulativos por año. Es el caso de la mayor parte del páramo donde la lluvia es igual o excede a la cantidad de evapotranspiración.

Ústico: es un régimen de humedad limitada pero no se aplica al régimen de temperatura crítico. Está seco por 90 días o más acumulativos al año, pero está húmedo por más de 180 días acumulativos. Es el caso del páramo más seco que está debajo del viento húmedo como las partes bajas del arenal del Cotopaxi o Chimborazo.

El parámetro mineralógico y químico

Según las proposiciones del WRB (Shoji et al. 1996) y del Referencial Francés (Quantin 1995), se pueden distinguir en los páramos de Ecuador tres tipos de andosoles **del menos evolucionado hasta el más evolucionado:**

El andosol vítrico: estos suelos tienen una alta tasa de minerales primarios poco alterados. Tienen una edad inferior a 2.000 años. No son precisamente andosoles debido a la débil presencia de minerales poco o no cristalizados: $0,4\% < \text{Alox} + 1/2 \text{Feox} < 2\%$. Son suelos característicos de cenizas frescas de volcanes activos (Pichincha, Sangay, Tungurahua, etc.) y de las zonas secas (cerca del arenal del Chimborazo y del Cotopaxi). Su capacidad de retención de agua y su tasa de carbono orgánico están más bajas que en los andosoles y su densidad aparente es más alta (entre 0,9 y 1,2) debido a la importante cantidad de minerales primarios



no alterados. Estos suelos son fértiles y ricos en cationes, pero debido a su granulometría muy arenosa, no retienen el agua y los fertilizantes. Este tipo de suelo está definido por la referencia de las laderas altas del Pichincha (perfil PIC).

El andosol alofánico (silandosol): estos andosoles ($\text{Alox} + 1/2 \text{Feox} > 2\%$) tienen una predominancia de minerales para cristalinos ($\text{SiOx} > 0,6\%$; $\text{Alpy}/\text{Alox} < 0,5\%$). La cantidad de aluminio intercambiable es limitada ($\text{Al}^{+++}/\text{CEC} < 20\%$). El pH es superior a 5. Estos suelos tienen una fertilidad que depende de su edad y de su estado de alteración, lo que se expresa por su contenido en cationes intercambiables. Generalmente son suelos fértiles con deficiencia de fósforo y de azufre. Los que tienen la más grande cantidad de agua (debido al régimen hídrico) tienen una fertilidad más baja debido al exceso de humedad.

Este tipo de suelo está descrito en la provincia de Chimborazo en la Cordillera Occidental (páramo de la carretera de Riobamba hasta Bucay; perfil CHI) o define las cenizas volcánicas antiguas del Cañar-Azogues en la carretera de Pindilig (parte inferior del perfil AZO); la parte inferior del perfil de alteración de los suelos del Cajas también tiene estas características (parte inferior del perfil CUE) que provienen de la alteración de la roca madre compuesta de material volcánico muy antiguo.

El andosol no alofánico (aluandosol): estos suelos tienen una mayor capacidad de retención de agua (hasta 200 g/100 g de suelo seco) y de carbono (más de 20 g/100 g de suelo seco) que los otros andosoles. Son el resultado de una **evolución más larga**.

Estos andosoles tienen el aluminio en complejo con materia orgánica ($\text{SiOx} < 0,6\%$; $\text{Alpy}/\text{Alox} > 0,5\%$). El pH de estos suelos es muy bajo y la cantidad de cationes intercambiables muy débil. La tasa de Al^{+++} intercambiable es alta ($\text{Al}^{+++}/\text{CEC} > 20\%$). En los andosoles no alofánicos, la retención de fósforo y de azufre es un factor muy limitante para los cultivos. Generalmente, estos suelos están presentes en lugares donde el exceso de frío y de humedad limita el potencial de los cultivos.

Estos andosoles están **muy bien representados** en Ecuador, como en el Carchi (El Ángel B referencia perfil GEL) o en la parte superior



de los andosoles de los páramos del Cañar (perfil AZO) y del Cajas (perfil CUE).

En resumen, las propiedades físicas y químicas de un suelo evolucionan en función de su alteración. Mientras el suelo está más evolucionado según su posición en la lito-crono-climatosecuencia, va a retener más agua y acumular más carbono y va a perder más cationes intercambiables. En el grado de evolución, un andosol no alofánico es más evolucionado que un andosol alofánico que, a su vez, es más evolucionado que un andosol vítrico. Esta evolución se observa únicamente en los páramos.

Los suelos que NO están sobre depósitos volcánicos

La ausencia de la cobertura piroclástica se traduce en cambios de las formas aflorantes. Ellas no presentan la misma esfumación generalizada que en el norte, donde todos los contrastes han sido suavizados por las últimas caídas piroclásticas. Las variaciones de substratos (litológica y formaciones superficiales) se vuelven perceptibles. Las formaciones superficiales originales afloran hasta la superficie (Winckell y Zebrowski 1997).

Al norte de Saraguro, la cordillera Real está marcada por una planicie que tiene alrededor de 3.100 m de altitud. Los suelos de la zona afectada por los glaciares son muy delgados, pero en su parte no afectada un horizonte orgánico espeso recubre un paleosuelo de tipo ferralítico (ultisol) rojo, con espesor de hasta 5-6 m y muy arcilloso (caolinita). Es un suelo antiguo desarrollado en condiciones mucho más calientes y lluviosas y que probablemente se elevó debido a la tectónica andina. En la Cordillera Occidental, los suelos son muy parecidos a los del Cajas, con andosoles no alofánicos delgados.

En la zona de Loja, únicamente la Cordillera Oriental (Real) está cubierta de páramos con muchas especies arbustivas y leñosas. La cumbre, generalmente plana, es muy estrecha y tiene relictos de un relieve glaciar con muchas lagunas. Las pendientes son muy fuertes a ambos lados de las crestas.



Condiciones de formación de los suelos que NO están sobre depósitos volcánicos

Las condiciones climáticas son determinantes para los suelos. La temperatura media es muy baja y los fuertes y húmedos vientos amazónicos provocan precipitaciones frecuentes. La precipitación anual puede superar los 4.000 mm. Los períodos secos no llegan a ser de un mes por año.

El tipo de roca madre es muy importante para determinar la pedogénesis en las zonas más bajas de la región austral. En las cumbres, la roca madre puede influir sobre el drenaje según la orientación de los esquistos y la formación de arcillas por herencia, y sobre la tasa de cuarzo relicto que, a pesar de que favorece una acidificación del suelo, mejora su drenaje.

Las propiedades de los suelos que NO están sobre depósitos volcánicos

Parámetros morfológicos

Los suelos son generalmente muy delgados, de menos de 50 cm de espesor. Los suelos muy espesos, negros y rojos, de la planicie entre Oña y Saraguro, constituyen una excepción porque ha habido una conservación de suelos antiguos debida a una erosión débil. Contrariamente a los andosoles, estos son suelos con una mayor diferenciación en sus horizontes (Sourdat 1986).

- La capa oscura rica en materia orgánica supera los 20 cm de espesor;
- Los horizontes profundos tienen un color naranja fuerte, frecuentemente mezclado con manchas rojas y grises. Estos colores son típicos de un ahidromorfia con exceso de agua y con óxido reducción del hierro;
- Entre la capa oscura y los horizontes profundos, frecuentemente hay una capa de 1 cm de espesor formada por granos de cuarzo blancos, angulosos y gruesos hasta de 1 cm de largo. Esta capa es probablemente un relicto de los eventos glaciares y sirve como eje de drenaje.



Parámetros físicos

En su parte superior:

- La tasa de retención de agua es muy elevada y puede superar los 100%. Esta capacidad de retención de agua no es totalmente reversible cuando el suelo se seca;
- La densidad aparente del horizonte orgánico es muy débil (<0,9).

En su parte inferior:

- La tasa de arcillas mineralógicas es alta (de tipo esmectitas aluminosas o caolinita) y constituye un freno al drenaje interno de estos suelos. La densidad aparente del horizonte orgánico muy débil (<0,9);
- La densidad aparente es más alta que en la parte superior (1,5) y la capacidad de retención de agua no supera el 50%.

Parámetros químicos

- **La cantidad $\text{Al}^{+++} + 1/2 \text{Fe}^{ox}$ es alta** en la parte superior de los suelos, no tanto como en los andosoles pero puede superar el 1%. Esto significa que, debido al frío y a la lixiviación de los cationes en condiciones ácidas, la materia orgánica forma complejos órgano-metálicos muy estables (Parfitt y Kimble 1989, Dahlgren et al. 1993);
 - El **pH** es muy **bajo** (< 5,0) y la tasa de Al^{+++} intercambiable es muy alta;
 - Debido al exceso de agua y a una lixiviación rápida y permanente de los cationes, la cantidad de cationes intercambiables es muy débil.
- Son suelos desaturados.**

Los diferentes tipos de suelos que NO están sobre depósitos volcánicos

La mayoría de los suelos tiene un horizonte superficial de tipo andosol no alofánico con complejos órgano-metálicos. **Hay entonces una convergencia de pedogénesis de los horizontes superiores entre los páramos del norte y del sur de Ecuador con los del norte de Perú** (Escobedo-Urquiza 1980).



La mayoría de los suelos son complejos y de tipo ferralítico desaturado (ultisol) con una hidromorfía muy constante. El exceso de agua se traduce en una coloración fuerte (roja, naranja, amarilla) del suelo por los óxidos de hierro. Estos suelos tienen un drenaje interno muy reducido.

En algunas partes particularmente ricas en cuarzo hay suelos de tipo podzólico (spodosol): el complejo Al-materia orgánica tiene una forma de quelato y se mueve en el perfil. El horizonte lixiviado toma una coloración blanquecina y supera un horizonte de acumulación de materia orgánica y de óxido de hierro. Estos suelos son muy ácidos y desaturados.

Debido a su exceso de agua y a su desaturación estos suelos son muy pobres. Son suelos delgados que pueden secarse rápidamente de manera irreversible. En el páramo de Loja (Parque Nacional Podocarpus) se ha observado una transformación reciente de la vegetación con la presencia de palmeras (plantas que necesitan sombra en sus primeros años de desarrollo) en zonas de páramo descubierto. No hay evidencias de cambios edafológicos.

Conclusión

Las propiedades físicas, como la retención de agua, y químicas, como la retención de carbono, fosfatos o cantidad de cationes intercambiables, dependen directamente de la evolución de los suelos. El estudio desempeña un papel muy importante para predecir su comportamiento natural y también después de su utilización por el ser humano.

Bibliografía

- Colmet-Daage, F., F. Cucalon, M. Delaune, J. Gautheyrou y B. Moreau. 1967. *Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques*. 2ème partie: Conditions de formation et d'évolution. Cah. ORSTOM, sér. pédol. 5(4):353-392.



- Dahlgren, R., S. Shoji y M. Nanzyo. 1993. *Mineralogical characteristics of volcanic ash soils*. In Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization. S. Shoji (Ed.), Elsevier science, Development in soil science 21: 101-142. Elsevier. Ámsterdam.
- Escobedo-Urquizo, J. 1980. *Les sols des páramos. Etude pédogénétiques dans les hautes Andes du Pérou septentrional*. Thèse de sciences agronomiques. Faculté des sciences de Gembloux.
- Fieldes, M. y K W. Perrot. 1966. *The nature of allophane in soils*. Part 3. Rapid field and laboratory tests for allophane. N.Z.J. Sci., 9:623629.
- Hall, M. y P. Mothes. 1994. *Tefrostratigrafía holocénica de los volcanes principales del valle interandino, Ecuador*. Estudios de Geografía 6:47-67.
- La Condamine, C.M. 1751. *Journal du voyage fait par ordre du roi à L'Equateur, servant d'introduction historique à la mesure des trois premiers degrés du méridien*. Imprimerie Royale. París.
- Maeda, T., H. Takenaka y B.P. Warkentin. 1977. *Physical properties of allophane soils*. Adv. Agron. 29:229-264.
- Nanzyo, M., S. Shoji y R. Dahlgren. 1993. *Physical characteristics of volcanic ash soils*. En: S. Shoji, R. Dahlgren y M. Nanzyo (Eds.). Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization. Development in Soil Science 21:189-201. Elsevier. Ámsterdam.
- Parfitt, R.L. y J.M. Kimble. 1989. *Conditions for formation of Allophane in Soils*. Soil Sci. Soc. Am. J. 53: 971-977.
- Pourrut, P. 1994. *L'eau en Equateur, principaux acquis en hydroclimatologie*. Collection Etude et Thèses. Orstom. París.
- PRONAREG-ORSTOM. 1978-1985. *Cartografía de los suelos de la República del Ecuador*. 1/200.000. Colmet-Daage (Ed.), Quito
- Proyecto Páramo. 1999. *Mapa preliminar de los páramos del Ecuador*. Documento no publicado. Universidad de Ámsterdam/EcoCiencia/Instituto de Montaña. Quito.
- Quantin, P. 1995. Andosols et vitrosols. *Référentiel pédologique français*. INRA AFES. París.
- Schubert, C. y C. Clapperton. 1990. *Quaternary glaciation in the northern Andes (Venezuela, Colombia y Ecuador)*. Quaternary Science Review 9:123-135.



- Shoji S., T. Kurebayashi e I. Yamada. 1990. Growth and chemical composition of japanese pampas grass (*Miscanthus sinensis*) with special reference to the formation of dark-colored Andisols in northeastern Japan. *Soil Sci. Plant Nutr.* 36:105-120.
- Shoji, S., R. Dahlgren y M. Nanzyo. 1993. *Genesis of volcanic ash soils*. En: Volcanic ash soils. Genesis, properties and utilization. S. Shoji, R. Dahlgren y M. Nanzyo (Eds.). *Development in soil science* 21: 37-70. Elsevier. Ámsterdam.
- Shoji, S., M. Nanzyo, R.A. Dahlgren y P. Quantin. 1996. *Evaluation and proposal revisions of criteria for andosols in the world reference base for soil resource*. *Soil Science* 161, 9:604-615.
- Soil Survey Staff. 1998. *Keys to soil Taxonomy*. Eighth Edition. USDA.
- Sourdat, M. 1986. *Les sols de l'Amazonie équatorienne*. Cah. ORSTOM, sér. pédol. 22(4):409-428.
- Winckell, A., C. Zebrowski y M. Delaune. 1991a. *Evolution du modèle quaternaire et des formations superficielles dans les Andes de l'Equateur*. Première partie: le volcanisme pyroclastique récent. *Géodynamique* 6(2): 97-117.
- Winckell, A., C. Zebrowski y M. Delaune. 1991b. *Evolution du modèle quaternaire et des formations superficielles dans les Andes de l'Equateur*. Deuxième partie: quelques aspects de l'histoire paléogéographique quaternaire. *Geodynamique*. 6 (2),119-139.
- Winckell, A. y C. Zebrowski. 1997. *Los paisajes andinos de la sierra del Ecuador*. En: Los paisajes naturales del Ecuador. A. Winckell (Ed.), *Geografía Básica del Ecuador*. 4(2):3-207. CEDIG. Quito.