



Paisaje agrícola en la provincia de Chimborazo



INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR

SUELOS DEL ECUADOR CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO.

Editores:
José Espinosa
Julio Moreno
Gustavo Bernal

2022

SUELOS DEL ECUADOR

CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO

Editores

José Espinosa, Consultor: jepinosa@fragaria.com.ec

Julio Moreno, Instituto Geográfico Militar: vjmi76.jm@gmail.com

Gustavo Bernal, Consultor: gusrbg@yahoo.com



**INSTITUTO
GEOGRÁFICO
MILITAR**

2022

Catalogación en publicación IGM. Gestión Geográfica

Nombres: Espinosa Marroquín, José Antonio Elías, editor / Moreno Izquierdo, Víctor Julio, editor / Bernal Gómez, Gustavo Ramón, editor /

Título: Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo. José Espinosa, Julio Moreno, Gustavo Bernal (editores).

Descripción: Primera edición. / Quito: Instituto Geográfico Militar, 2022.

Identificación: ISBN 978-9942-22-557-3

Temas: Visión General de los Suelos de Ecuador / Suelos de la Costa / Suelos de la Sierra / Suelos del Oriente / Suelos de las Islas Galápagos / Uso del Suelo en Ecuador / Erosión del Suelo en Ecuador / Características de los Suelos en Ecuador y su Manejo / Microorganismos Benéficos en Suelos de Ecosistemas Naturales y Agroecosistemas del Ecuador.

Clasificación: Sector Público Gubernamental (978-9942-22)

La presente obra fue posible gracias al auspicio del Instituto Geográfico Militar (IGM). El libro es el resultado de la información generada, entre los años 2009 y 2017, por diversos proyectos de inversión que el Estado ecuatoriano estimó eran prioritarios, como, por ejemplo, los proyectos “Generación de Geoinformación para la Gestión y Valoración de Tierras de la Cuenca Baja del Río Guayas” y “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional”, los cuales se trabajaron a escala semidetallada.

Primera edición: 11 de abril, 2022.

©Instituto Geográfico Militar (IGM)

Av. Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, El Dorado.

Quito-Ecuador

ISBN 978-9942-22-557-3

Diseño de portada y Diagramación: Danny Lincango

Impresión: IGM

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

La versión digital está disponible gratuitamente en el Geoportal del IGM:

<https://www.geoportalmgm.gob.ec/portal/index.php/estudios-geograficos/>

Como citar este libro:

Espinosa, J., J. Moreno y G. Bernal (eds). 2022. Suelos del Ecuador: Clasificación, Uso y Manejo. Instituto Geográfico Militar (IGM). Quito, Ecuador.

Como citar capítulos de este libro (ejemplo capítulo 4):

Sánchez, D., J. Merlo, R. Haro, M. Acosta y G. Bernal. 2022. Suelos del Oriente. En: J. Espinosa, J. Moreno y G. Bernal (eds). Suelos del Ecuador. Instituto Geográfico Militar (IGM). Quito, Ecuador.

—SUELOS— DE LA SIERRA

Julio Moreno, Instituto Geográfico Militar: vjmi76.jm@gmail.com

Fausto Yerovi, Ganadería El Pogyo: patoyerovi@gmail.com

Mireya Herrera, Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias: mireyaherrera18@hotmail.com

Darwin Yáñez, Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias:

darwinbeniyanez@yahoo.es

José Espinosa, Consultor: [jespinosa@fragaria.com.ec](mailto:jespinos@fragaria.com.ec)

Renato Haro, Consultor: renoharo@hotmail.com

RESUMEN

La Sierra está formada por las cordilleras oriental y occidental de los Andes arregladas en dirección norte-sur, con pendientes muy inclinadas en los flancos exteriores que gradualmente se reducen a medida que se difunden en la Costa o en la Amazonía. Además, existe también una reducción de masividad de las cordilleras en dirección norte a sur. La Sierra se divide en tres regiones: Sierra Norte, Sierra Centro y Sierra Sur. La Sierra Norte ha recibido la reciente contribución de erupciones volcánicas (ceniza y lapilli) sobre las cuales se han desarrollado Andisoles de diversa fertilidad, generalmente profundos, características que están directamente ligadas al clima y el material parental. La Sierra Centro no tiene volcanes activos o recientes proyecciones piroclásticas y el material parental consiste en cenizas antiguas y rocas metamórficas en un relieve monótono. En esta zona existe una variedad de suelos dependiendo de la altitud. En los sectores altos, los suelos son ferralíticos-fersialíticos, en la parte media son moderadamente evolucionados con características móllicas y vérticas y en la parte baja son suelos son pobremente desarrollados (Inceptisoles y Entisoles). La Sierra Sur se caracteriza por tener un relieve más irregular ubicado sobre granitos, formaciones metamórficas, sedimentos terciarios y glaciares de depósitos coluviales que han formado, en la parte alta, suelos fersialíticos saturados ricos en arcillas 2-1, junto con Paleosoles ferralíticos desaturados. En las áreas bajas, los suelos son principalmente Vertisoles, a menudo pobremente desarrollados, rodeados por Paleosoles ferralíticos.

ABSTRACT

The Highlands are made of the western and eastern cordilleras arranged in a north–south direction, with very steep outer slopes which gradually decline as they diffuse into the coastal plain or the Amazonia. Additionally, there is a decreasing massiveness of the cordilleras also from north to south. The Highlands are divided into three regions: Northern, Central, and Southern Highlands. The Northern section of the Highlands received recent contributions of volcanic projections (ash and lapilli) over which diverse fertile and generally deep Andisols have developed, characteristics closely linked to climate and parent material. The Central Highlands do not have active volcanoes or recent pyroclastic projections and the parent material consists of old volcanic and metamorphic rocks in a monotonous relief. There is a variety of soils in this zone depending on the altitude. In the upper sectors, soils are ferralitic–fersialitic, in the middle, they are moderately evolved with mollic or vertic features, and in the lowland, soils are poorly developed (Inceptisols and Entisols). The Southern Highlands are characterized by a more rugged relief over granites, metamorphic formations, tertiary sediments, and glaciais of colluvial deposits that have formed, in the upper parts, fersialitic saturated soils rich in minerals 2:1, along with desaturated ferralitic Paleosols. In the lower areas, soils are mainly Vertisols, often poorly developed, surrounded by the ferralitic Paleosols

3.1. Introducción

La Cordillera de los Andes, la barrera montañosa más notoria en el Ecuador, tiene un ancho que varía entre 100 y 150 km de este a oeste y está conformada por las cordilleras Occidental y Oriental dispuestas en dirección meridiana. La masividad de los Andes en Ecuador se reduce de norte a sur y las vertientes exteriores de las cordilleras son muy abruptas y se caracterizan por una declinación general de altitud a medida que se difunden en las llanuras de la Costa o de la Amazonía. La Sierra se subdivide en tres regiones (**Figura 3.1**): a) Sierra Septentrional, que se extiende desde la frontera con Colombia hasta la latitud 2° 15' S (Palmira-Alausí), caracterizada por la presencia de varios volcanes, algunos activos y otros apagados; b) Sierra Central, que parte desde Palmira-Alausí hasta de Zaruma-Saraguro al sur, donde no existen volcanes recientes y el paisaje es el del típico altiplano ensanchado y monótono; y, c) Sierra Meridional, que se inicia desde Zaruma-Saraguro hasta la frontera con el Perú, con un relieve confuso de sitios bajos que se dirigen hacia el SSO y sitios más altos que apenas alcanzan los 2 500 m s. n. m. (Winckell, *et al.*, 1997b; IGM, 2013).

Las características de estas tres zonas se pueden sintetizar en los siguientes geosistemas (**Figura 3.2**): a) Cimas frías de las cordilleras andinas, con paisajes heredados y paisajes de páramo con climas fríos o muy fríos y heladas nocturnas cotidianas, con conos volcánicos de diferentes edades y suelos negros poco evolucionados con altos contenidos de materia orgánica. El clima no favorece la actividad agrícola, pero estas áreas se usan para pastoreo extensivo y localizado de ovinos; b) Vertientes externas de los Andes, con modelados vigorosos y muy disectados sobre rocas antiguas diversas. El clima es húmedo a muy húmedo con presencia de fuerte nubosidad, condiciones que han favorecido la formación de zonas arbóreas perennes. Los suelos son ferralíticos con cobertura parcial de cenizas volcánicas recientes y rejuvenecidos por la erosión; c) Cuencas interandinas del norte de la Sierra con rellenos volcano-sedimentarios, donde es evidente la morfogénesis volcánica promovida por la presencia de grandes estratovolcanes recientes y activos. Los suelos de esta zona se han desarrollado sobre recubrimientos piroclásticos generalizados y están sometidos a una intensa actividad agrícola; d) Cuencas interandinas del centro de la Sierra con basamento antiguo, volcánico y metamórfico, donde no existen volcanes ni recubrimientos piroclásticos recientes, el área está fragmentada en dos conjuntos de cuencas sedimentarias paralelas cuya cobertura está distribuida en una topo-climo secuencia donde los suelos de la parte alta son ferralíticos, a menudo humíferos, los de la zona media son moderadamente evolucionados con características móllicas o vérticas y los de la zona baja son poco evolucionados; e) Entalladuras y valles fluviales interandinos con suelos aluviales relativamente ricos en los valles y sobre los cuales existe actividad agrícola diversificada; f) Relieves de la Sierra Austral de suelos ferralíticos-fersialíticos, localizados en una paleo-topo-climo secuencia edafológica de grandes valles y depresiones ortogonales donde es clara la estratificación climática de húmedo a árido (Winckell, *et al.*, 1997b).

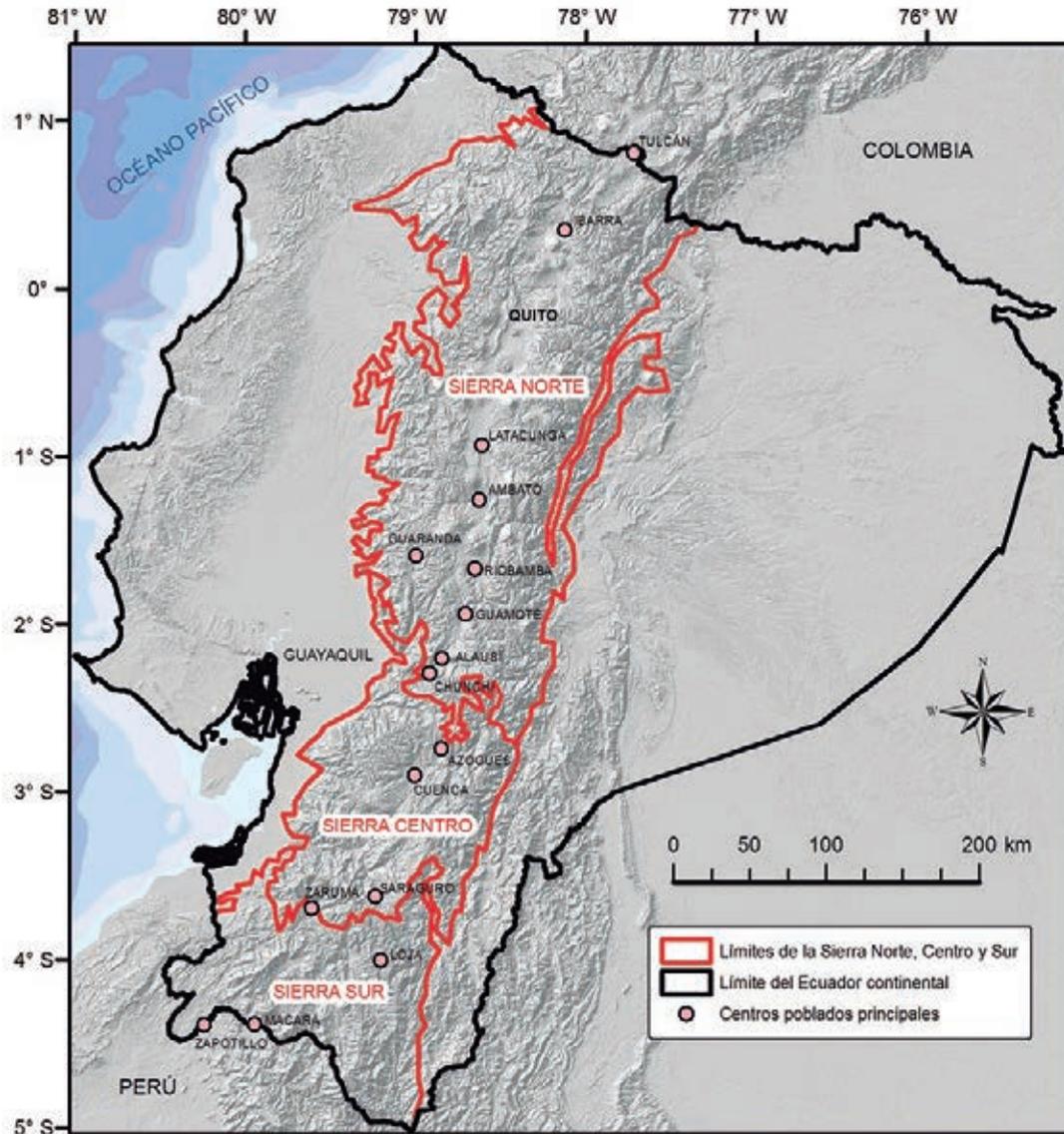


Figura 3.1. Ubicación de los Andes Septentrionales, Centrales y Meridionales, respecto al Ecuador continental. Adaptado de Winckell, *et al.* (1997).

La cartografía de aptitudes agrícolas a escala 1: 200 000 publicada por PRONAREG-ORSTOM (1982) muestra que el 23 % de la tierra de la región Sierra (1.4 millones de ha) es apta para uso agrícola. Estas son tierras ubicadas en zonas planas a moderadamente onduladas de los valles intermontanos que presentan condiciones favorables para una amplia gama de cultivos de clima templado como papa, cebada, trigo, maíz, quinua, leguminosas, frutales y hortalizas. El 24 % (aproximadamente 1.5 millones de ha) corresponde a áreas muy disectadas con pendientes moderadamente pronunciadas, condición que hace que sean tierras marginales para uso agrícola, pero que pueden utilizarse para ganadería. Finalmente, el 53 % de la Sierra (3.4 millones de ha) corresponde a áreas que tienen pendientes muy pronunciadas y serias limitaciones climáticas y morfopedológicas para agricultura y ganadería (incluye los declives externos e internos de la Cordillera de los Andes) y que solamente pueden utilizarse para mantenimiento de la cobertura vegetal, forestación y reforestación (Pacheco, 2009).

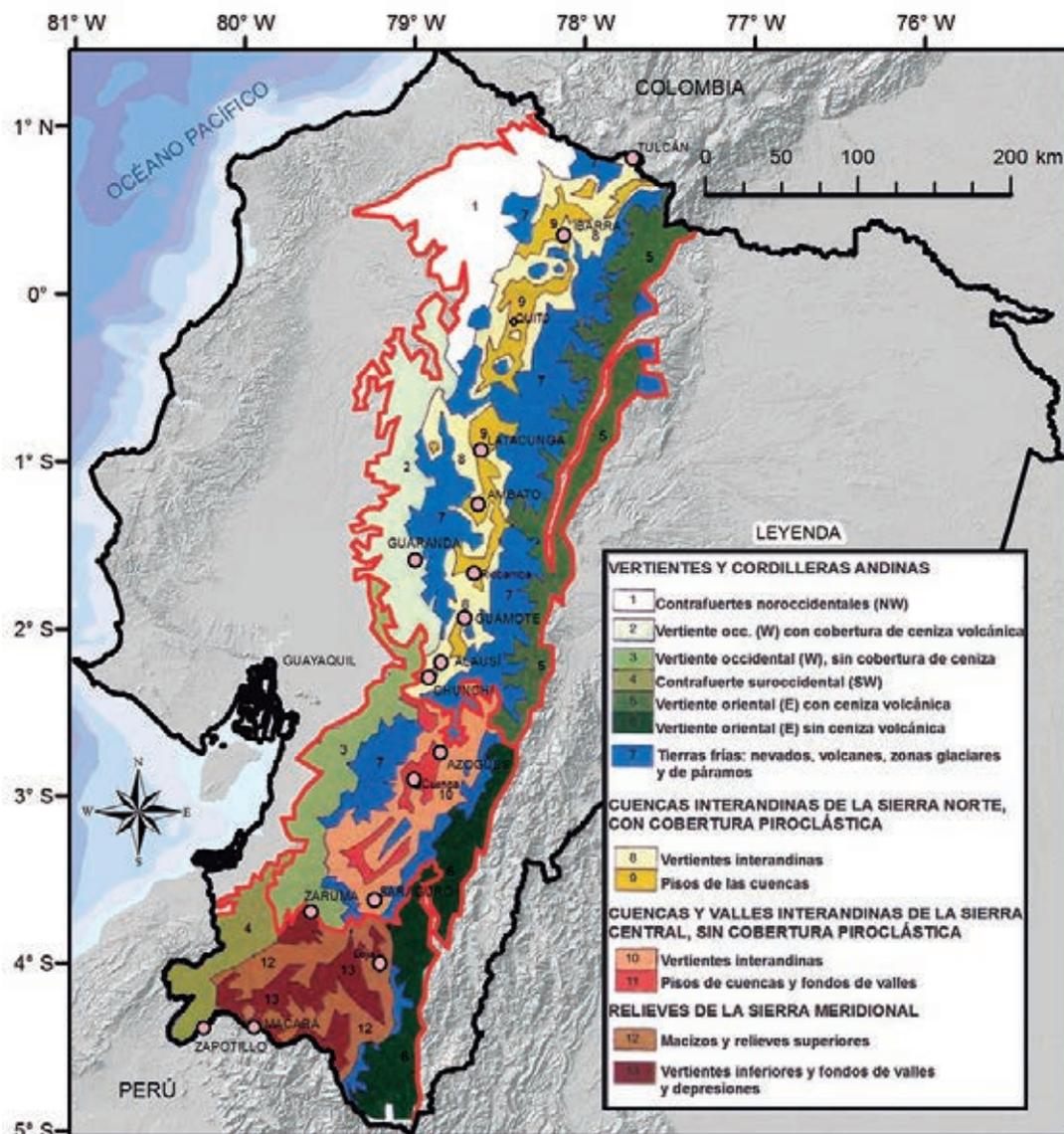


Figura 3.2. Ubicación de los diferentes geosistemas (paisajes) en la Sierra Septentrional, Central y Meridional con respecto al Ecuador continental. Adaptado de Winckell *et al.* (1997).

3.2. Características de la Sierra Norte

Los Andes Septentrionales o Sierra Norte se extienden desde el límite fronterizo con Colombia hasta la latitud $2^{\circ} 15' S$ en Palmira-Alausí (Figura 3.3). El paisaje de esta unidad se caracteriza por estar enmarcado por dos grandes cordilleras paralelas (oriental y occidental) que forman lo que Humboldt denominó Avenida de los Volcanes. Estos grandes macizos alcanzan altitudes de 4 000 a 4 500 m s. n. m. y están separadas por la depresión interandina que tiene una anchura de alrededor de 20 km y altitudes que oscilan entre los 1 600 a 3 000 m s. n. m. Además, son parte de esta unidad las vertientes externas muy empinadas que terminan fundiéndose con las regiones de la Costa y Amazonía. El volcanismo del periodo Cretáceo originó la Cordillera Oriental, mientras que la Cordillera Occidental se desarrolló sobre diversas fases del tectonismo de la orogénesis Andina (Winckell, *et al.*, 1997b; Pacheco, 2009).

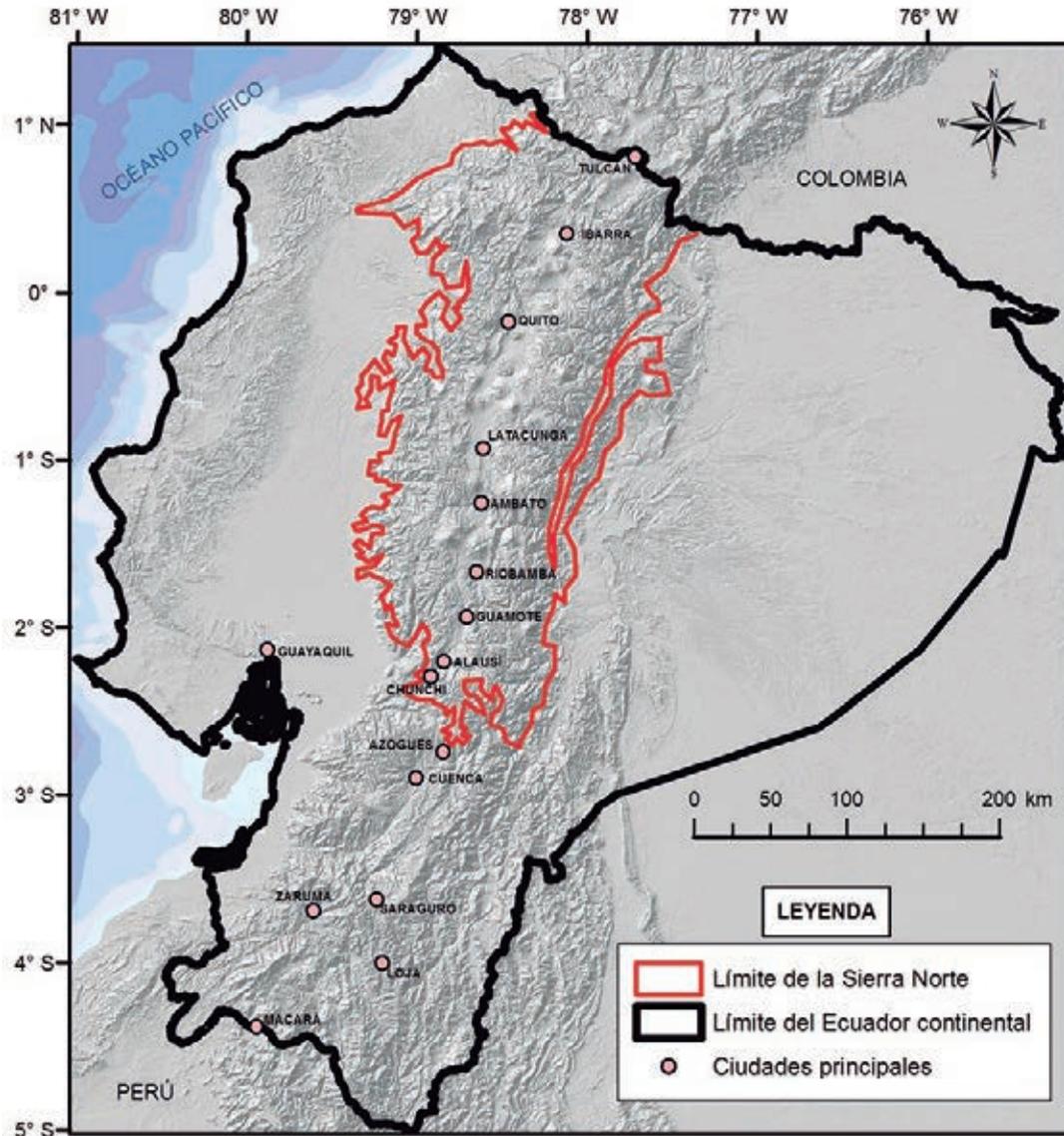


Figura 3.3. Ubicación de la Sierra Norte, respecto al Ecuador continental. Adaptado de Winckell, *et al.* (1997b).

El intenso proceso volcánico generó grandes emisiones de piroclastos, coladas volcánicas y lahares que se depositaron sobre las andesitas y riolitas originales en la mayoría de la Sierra Norte. En esta zona de Ecuador se encuentran ubicados los volcanes, la mayoría sin actividad como los colosos Cotopaxi (5 897 m s. n. m.) y Chimborazo (6 310 m s. n. m.) (**Figura 3.4**). Los grandes volúmenes de ceniza volcánica depositada, especialmente sobre la cordillera occidental y la llanura costera, han suavizado las geoformas de estas zonas (Pacheco, 2009).

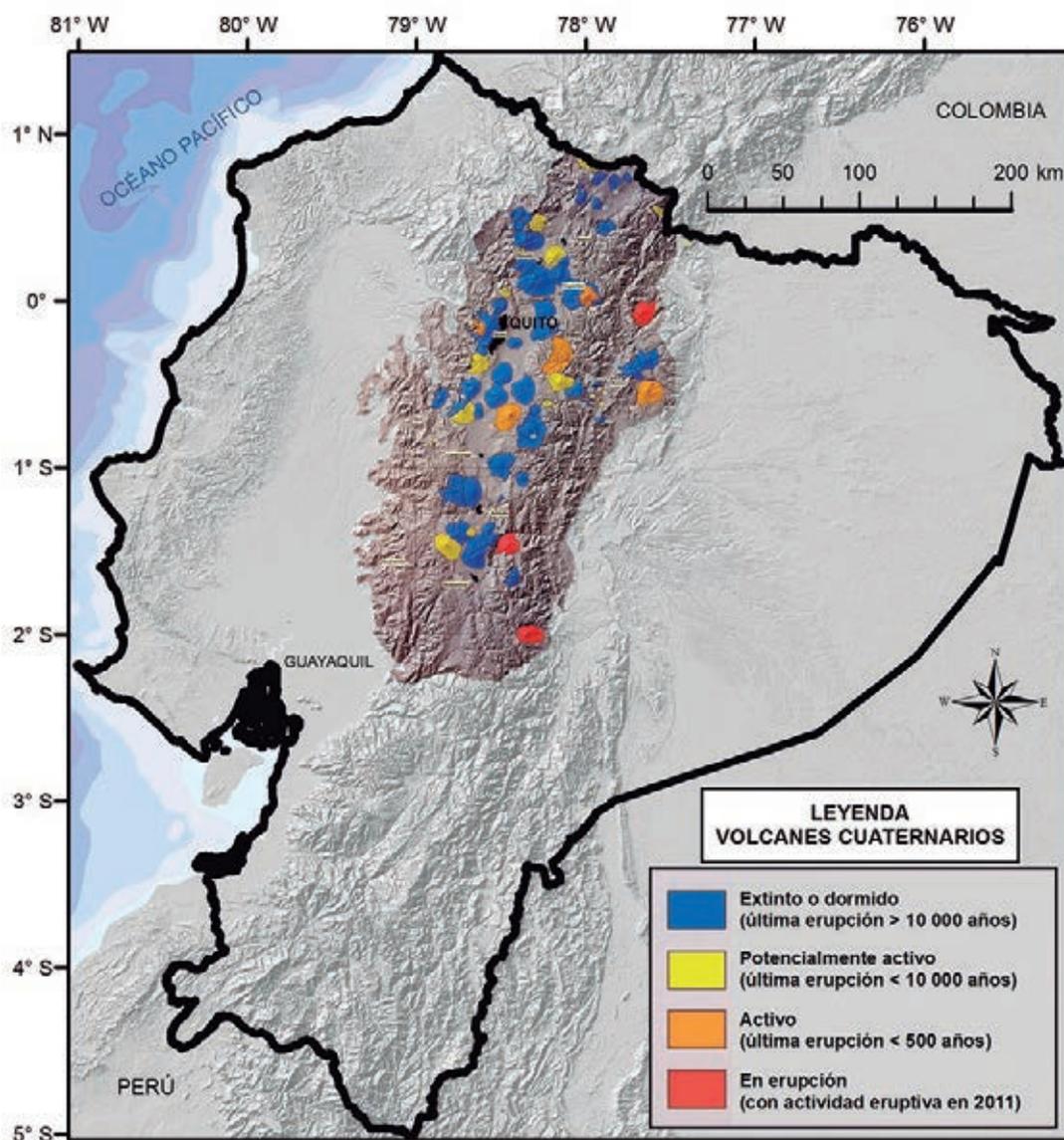


Figura 3.4. Zona de influencia de la actividad volcánica antigua y reciente en Ecuador. Adaptado de IRD, et al. (2012).

Las glaciaciones ocurridas en el Cuaternario, en combinación con la actividad tectónica, el volcanismo Cuaternario y los episodios de erosión y relleno dejaron marcadas sus huellas en los relieves y dieron forma a la geomorfología actual de los Andes Septentrionales. En medio de las dos cordilleras, como producto de fallas tectónicas, se formaron edificios volcánicos transversales denominados nudos. Los nudos dividen la depresión formada entre las cordilleras en pequeños valles (hoyas) característicos de la Sierra Norte (Pacheco, 2009). La Sierra Norte se divide en los siguientes relieves: a) Cimas frías, b) Flancos de los volcanes, c) Vertientes exteriores, d) Vertientes interiores, e) Relieves de fondo de cuenca y callejón interandino y f) Medio fluvial.

3.2.1. Cimas frías

Este paisaje andino, conocido también como Tierras Frías de los Andes, se caracteriza por presentar zonas frías en forma de dos cintas meridionales que coronan las cordilleras occidental y oriental en las cuales sobresalen los edificios volcánicos siempre cubiertos de nieve. Estos paisajes empiezan a 0° de latitud (San Antonio de Pichincha) aproximadamente a 3 600 m s. n. m. y en varios sitios alcanzan alturas que

permiten nieves perpetuas llegando a la cumbre máxima en el nevado del Chimborazo a 6 310 m s. n. m. (Winckell, *et al.*, 1997b). Según el diagrama de Holdridge, las cimas frías se encuentran entre los pisos altitudinales Subalpino, Alpino y Nival que denotan regiones latitudinales de Boreal a Subpolar y Polar (Holdridge, 1969; Cañadas, 1983).

Al terminarse en su totalidad las glaciaciones aparecieron los glaciares recientes generando de manera armónica la morfología glaciaria actual caracterizada por valles glaciares, morrenas y acantilados rocosos. La topografía es irregular con vertientes abruptas y llanos planos con un modelaje suavizado por la ceniza volcánica (Winckell, *et al.*, 1997b).

La cordillera occidental es de origen reciente y se formó como resultado del choque y aplastamiento de los arcos volcánicos que al momento de la elevación de la costa ecuatoriana se encontraban obstruidos por las cortezas oceánica y continental. La cordillera oriental, o cordillera original, se formó como resultado de actividad antigua del Precámbrico y/o Paleozoico (Winckell, *et al.*, 1997b), aunque estudios recientes indican que las rocas sedimentarias y magmáticas que cubren esta cordillera se formaron en el Mesozoico (Vallejo, 2007). Las cordilleras se cubrieron con glaciares, en mayor cantidad en la cordillera oriental debido al mayor volumen de pluviosidad generado por las grandes masas de aire de origen Amazónico (Derruau y de Noni, 1982).

La condición climática es la principal característica que diferencia esta zona de los demás paisajes andinos. La presión atmosférica es baja, la humedad es alta, el régimen de humedad del suelo es údico y perúdic, las temperaturas ambientales son bajas ($< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ en promedio), el régimen de temperatura en el suelo es en general isofrígido, es decir, la temperatura del suelo a 50 cm de profundidad es $< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y las precipitaciones anuales promedian 250 a 500 mm en las provincias de Cotopaxi y Tungurahua, 500 a 1 000 mm en las provincias de Imbabura y Chimborazo y 1 000 a 2 000 mm en las provincias de Pichincha, Carchi y Bolívar (Cañadas, 1983; Winckell, *et al.*, 1997b).

El paisaje de las cimas frías se caracteriza por presentar ecosistemas autónomos denominados páramos que se inician sobre la línea de bosques andinos y que llegan a las nieves perpetuas. Los páramos captan y administran agua dulce que drena de manera sistemática a través de la cobertura vegetal y del suelo formando coluvios aluviales por donde fluye el líquido vital hacia las zonas bajas, situación que permite la vida y la producción agropecuaria (Poulenard, *et al.*, 2003; Beltrán, *et al.*, 2009). En estas cimas se ubican las líneas divisoras de aguas (*divortium aquarum*) que dan origen a las cuencas hidrográficas (grandes y pequeñas) de la actualidad (Winckell, *et al.*, 1997b).

En su mayoría, la vegetación de los páramos se caracteriza por la presencia de pajonales de altura (*Stipa ichu*) que paulatinamente se reduce a medida que se alcanzan zonas de mayor altitud donde se observa mayormente una vegetación de arbustos postrados como los cojines o almohadillas (*Plantago rigida*) con remanentes de bosques primarios de *Polylepis*. Dependiendo de la zona geográfica (disponibilidad de agua, clima y volcán de origen) se pueden diferenciar las unidades ambientales características de los Andes del Norte con coberturas vegetales propias de cada zona, como los frailejones (*Espeletia pycnophylla*) en Carchi (**Figura 3.5**) (Beltrán, *et al.*, 2009; de Bievre, *et al.*, 2011).



Figura 3.5. Modelado volcánico de las cimas frías (izquierda) (foto de Freddy Guerrero) y cobertura de paja de páramo de *Stipa ichu* y frailejones (*Espeletia pycnophylla*) (derecha) (foto de Renato Haro).

Por su composición, los depósitos volcánicos de las Cimas Frías se alteraron rápidamente y la gran acumulación de humus, con habilidad para acomplejar aluminio (Al), permitió la formación de complejos humus-Al estables. Este fuerte acomplejamiento del Al con el humus limita la posibilidad de coprecipitación del Al con el silicio (Si) liberados de la descomposición de la ceniza volcánica, lo que a su vez limita la formación de alófana. Por esta razón, los suelos de altura de la Sierra Norte están dominados por complejos humus-Al y tienen muy poca alófana (Wada y Kakuto, 1985; Sollins, 1991; Poulencard, *et al.*, 2003; Zehetner, *et al.*, 2003). Estos suelos se caracterizan por tener colores oscuros, alto contenido de carbono, baja saturación de bases, baja densidad aparente, textura franca, franco arenosa o principalmente franco limosa, con una apariencia al tacto en campo untuosa y jabonosa, similar a limo, pH ácido y alta cantidad de aluminio libre (Al^{3+}) (MIDENA, *et al.*, 2013y).

Los suelos representativos de las Cimas Frías están clasificados, en su mayoría, como Cryands (Soil Survey Staff, 2006). En la **Figura 3.6** y en el **Cuadro 3.1** se describen las características de un suelo clasificado como Typic Melanocryands. Este tipo de suelos se encuentra ubicado sobre rocas aborregadas o flujos de lava de pendientes medias a fuertes. Los horizontes son profundos de colores negros y altos porcentajes de materia orgánica, ricos en potasio (K) y bajos en fósforo (P). La secuencia de horizontes en el perfil es la siguiente: A/A2 (MIDENA, *et al.*, 2014e).



Figura 3.6. Perfil del suelo clasificado como Typic Melanocryands (izquierda) ubicado en Cueva del Zorro, Tufiño, Carchi, cubierto con pajonales de altura (*Stipa ichu*) y frailejones (*Espeletia pycnophylla*) (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2014e).

Cuadro 3.1. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Melanocryands (MIDENA, *et al.*, 2014e).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A1	0-60	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, friable; fuerte reacción al NaF; densidad aparente: 0.39 g cm^{-3} ; pH: 5.3; materia orgánica: 25.7 %; CIC: 26 cmol kg^{-1} ; saturación de bases: 6.7 %.
A2	60-110	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco limosa; estructura bloques subangulares, friable; fuerte reacción al NaF.

En las Cimas Frías se encuentran también suelos clasificados como Melanocryands y Fulvicryands, taxonómicamente muy jóvenes, muy profundos (en ciertas zonas la profundidad del perfil es mayor a 6 m), alto contenido de carbono orgánico (CO), pero con diferencias de color posiblemente debidas a la dominancia de ácidos húmicos o ácidos fúlvicos. La secuencia general de los horizontes de los perfiles es A1/A2, pero se ha comprobado que los Melanocryands están a mayor altura que los Fulvicryands (MIDENA, *et al.*, 2013y). En la **Figura 3.7** y el **Cuadro 3.2** se presenta y describe el perfil modal de los suelos clasificados como Fulvicryands.



Figura 3.7. Perfil del suelo clasificado como Typic Fulvicryands (izquierda) localizado en Loma Páramo Chico, Cangahua, Pichincha, sobre una vertiente abrupta de la Formación Cangahua (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013ac).

Cuadro 3.2. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Fulvicryands (MIDENA, *et al.*, 2013ac).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A1	0-25	Color: pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; textura: franca; estructura: bloques subangulares, friable; fuerte reacción al NaF; densidad aparente: 0.75 g cm ⁻³ ; pH: 5.8; materia orgánica: 11.8 %; CIC: 23 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 37 %.
A2	25-110+	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco limosa; estructura: bloques subangulares, friable; fuerte reacción al NaF.

Existen pequeñas áreas de suelos clasificados como Haplocryands (**Figura. 3.8** y **Cuadro 3.3**) que se caracterizan por tener abundante vidrio volcánico (obsidiana, piedra pómez y/o cascajo), por estar localizados muy cerca de los sitios de emisión del material magmático (cráter o edificio volcánico).



Figura 3.8. Perfil del suelo clasificado como Vitric Haplocryands (izquierda) localizado en Chocaví, San Isidro de Patalú, Chimborazo, sobre el cual se cultivan pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2012b).

Cuadro 3.3. Características del perfil de suelo clasificado como Vitric Haplocryands (MIDENA, *et al.*, 2012b).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-29	Color: pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: granular a bloques subangulares, friable, con fragmentos de grava fina; mediana reacción al NaF; pH: 6.0; materia orgánica: 3.2 %; CIC: 6 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 81 %.
Bw1	29-80	Color: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares y angulares, friable, con fragmentos de grava fina; mediana reacción al NaF; pH: 5.8; materia orgánica: 3.2 %.
Bw2	80-115	Color: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques angulares, friable, con fragmentos de grava fina.
2Ab	115-135+	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares a angulares, firme; mediana reacción al NaF.

Los Hydrocryands y Melanocryands tienen horizontes profundos, sin embargo, los primeros predominan en las áreas donde la precipitación es alta y su capacidad de retención de agua es superior al 100 %, son suelos pobres en vidrio volcánico, presentan arcillas amorfas (alófana), son ricos en materia orgánica de restos vegetales no descompuestos, poseen pH ácido y bajas cantidades de P disponible (Custode, *et al.*, 1999).



Figura 3.9. Perfil del suelo clasificado como Typic Hydrocryands (izquierda) localizado en Mirador, Mariscal Sucre, Carchi, cubierto con pajonales de altura (*Stipa ichu*) y frailejones (*Espeletia pycnophylla*) (MIDENA, *et al.*, 2013n).

Cuadro 3.3. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Hydrocryands (MIDENA, *et al.*, 2013n).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ah	0-40	Color: pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: grumosa, friable; pH: 3.6; materia orgánica: 9.6 %; CIC: 40 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 59 %.
A	40-60	Color: gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; textura: franca; estructura: bloques subangulares, friable; ligera reacción al NaF; densidad aparente: 0.37 g cm ⁻³ ; pH: 4.70; materia orgánica: 12.5 %; CIC: 19 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 44 %.
AC	60-95	Color: pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; textura: franca; estructura: masiva a bloques subangulares, friable; media reacción al NaF; pH: 5.1; materia orgánica: 1.5 %.
C	95-110	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, friable; fuerte reacción al NaF; pH: 4.9; materia orgánica: 0.8 %.

Los suelos de las Cimas Frías (páramos) tienen un alto potencial para secuestrar carbono (C), pero son particularmente importantes porque son el gran reservorio de agua para la población localizada en los valles interandinos (de Bievre, *et al.*, 2011). La conservación de estos suelos es una prioridad nacional.

3.2.2. Flancos de los Volcanes

Estos paisajes de la Sierra Norte, que están relacionados con la mayoría de los volcanes presentes en la zona, se definen alrededor de estas estructuras, tiene laderas de pendientes moderadas a fuertes en una transición gradual de paisajes hacia los paisajes andinos de zonas más bajas. Estos ambientes se ubican entre los 3 000 y 3 500 m s. n. m. y varían en altitud dependiendo del volcán alrededor del cual se sitúan, especialmente al sur de la Sierra Norte. Estas áreas tienen origen netamente volcánico debido a que las proyecciones se depositaron alrededor de los edificios volcánicos y por efecto de la pendiente se dispersaron alrededor del entorno. Gran parte de esta ceniza fue removida del sitio de asentamiento por las altas descargas hídricas que acompañaron a las erupciones volcánicas. Estos episodios de emisión y arrastre de material volcánico a través del tiempo no fueron uniformes e hicieron que se intercalen en el perfil capas alternas de diferente material (tobas, lahares, flujos, derrames de lavas, etc.) y de diferente tamaño (ceniza, lapilli, pómez) en sectores donde la acumulación piroclástica fue profunda, pero en otros sectores se acumuló poco material volcánico e incluso en ciertos sitios afloran las rocas (**Figura 3.10**) (Winckell, *et al.*, 1997b). Por todas estas razones, en esta unidad se observan interfluvios de cima plana a ligeramente ondulada de cientos de metros a varios kilómetros, separados por marcadas entalladuras conocidas como quebradas. Estas áreas tienen relieve colinado, vertientes de flujos de lava y mesetas volcánicas con perfiles heterogéneos en su mayoría con fondos coluviales. Estas zonas tienen temperaturas promedio anuales que varían entre los 11 y 16 °C, precipitaciones anuales en el rango de 500 a 1 000 mm y tiene un régimen isomésico de temperatura del suelo (MIDENA, *et al.*, 2013y).



Figura 3.10. Flancos de los volcanes Ilinizas (izquierda) y del volcán Cayambe (derecha) (fotografías de Renato Haro).

La vegetación de los Flancos es variada. Existen sectores cubiertos con vegetación primaria y vida silvestre que todavía no se han alterado. En estos sitios se encuentran los típicos pajonales de páramo, mientras que en otros existen bosques frondosos de matorrales, vegetación arbustiva y arbórea. Sin embargo, las partes bajas de los Flancos están ocupadas con pastizales utilizados en ganadería lechera o con cultivos de papa, haba o cebada (MIDENA, *et al.*, 2013y). El avance de la frontera agrícola ha sustituido la vegetación de páramo remanente con pastos y cultivos, transformación que ha afectado significativamente las áreas de conservación y amortiguamiento con los páramos fríos (de Bievre, *et al.*, 2011).

Los suelos de los Flancos de los Volcanes son Andisoles negros, inmaduros, con débil desarrollo de los horizontes, profundos a medianamente profundos y con alto contenido de materia orgánica. La mayoría de estos suelos están clasificados como Melanudands y Hapludands (Soil Survey Staff, 2006) (Figuras 3.11 y 3.12 y Cuadros 3.4 y 3.5) (MIDENA, *et al.*, 2015b).



Figura 3.11. Perfil del suelo clasificado como Pachic Melanudands (izquierda) localizado en el sitio Murco, Tambillo, Pichincha, sobre una vertiente donde se ha cultivado pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013ab).

Cuadro 3.4. Características del perfil de suelo clasificado como Pachic Melanudands (MIDENA, *et al.*, 2013ab).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franca; estructura: bloques subangulares, friable, con fragmentos de grava fina; ligera reacción al NaF; densidad aparente: 1.04 g cm ⁻³ ; pH: 6.3; materia orgánica: 11.4 %; CIC: 26 cmol kg ⁻¹ y saturación de bases: 44 %.
A	25-90+	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenoso; estructura: bloques subangulares, friable; fuerte reacción al NaF; pH: 6.4; materia orgánica: 11.4 %.



Figura 3.12. Perfil del suelo clasificado como Typic Hapludands (izquierda) localizado en Vera Pamba, Tocachi, Pichincha, sobre el cual se han cultivado pastos, habas y cebada (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013ad).

Cuadro 3.5. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Hapludands (MIDENA, *et al.*, 2013ad).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-30	Color: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franca; estructura: bloques subangulares, friable; media reacción al NaF; densidad aparente: 1.07 g cm ⁻³ ; pH: 6; materia orgánica: 8.5 %; CIC: 21 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 37 %.
A	30-100	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, friable; media reacción al NaF; densidad aparente: 1.12 g cm ⁻³ ; pH: 5.5; materia orgánica: 5.9 %.

En los Flancos también aparecen, en menor cantidad, suelos clasificados como Mollisoles y Vitrandes (**Figura 3.13** y **3.14** y en los **Cuadro 3.6** y **3.7**), profundos a moderadamente profundos y con contenidos altos de materia orgánica (Soil Survey Staff, 2006).



Figura 3.13. Perfil del suelo clasificado como Typic Argiudolls (izquierda) localizado en San Juan, Tumbaco, Pichincha, sobre el cual se siembran pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013z).

Cuadro 3.6. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Argiudolls (MIDENA, *et al.*, 2013z).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-20	Color primario: pardo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; color secundario: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franca; estructura: bloques subangulares, friable; densidad aparente: 1.25 g cm ⁻³ ; pH: 7.3; materia orgánica: 2.8 %; CIC: 14 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 88 %.
AB	20-45	Color primario: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; color secundario: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arcillosa; estructura: bloques subangulares, firme; pH: 6.4; materia orgánica: 3.3 %; CIC: 20 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 97 %.
Bt	45-85	Color primario: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; color secundario: negro (10 YR 2/1) en húmedo; textura: franco arcillosa; estructura: bloques angulares, firme; pH: 6.5; materia orgánica: 3.1 %.
C	85-110+	Color primario: gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; color secundario: negro (10YR 2/1) en húmedo con muchos moteados pardo amarillento (10 YR 5/8); textura: franco arenosa; estructura: masiva, firme.

**Figura 3.14.** Perfil del suelo clasificado como Typic Hapludands (izquierda) localizado en hacienda Cathziqui de Herrera, Nono, Pichincha, sobre el cual se cultiva pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013ag).

Cuadro 3.7. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Hapludands (MIDENA, *et al.*, 2013ag).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-33	Color: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: granular a bloques subangulares, friable, con fragmentos de grava fina; ligera reacción al NaF; densidad aparente: 1.22 g cm ⁻³ ; pH: 5.1; materia orgánica: 1.9 %; CIC: 6 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 48 %.
C1	33-60	Color: pardo oliva (2.5Y 4/4) en húmedo; textura: arena gruesa; estructura: grano simple, suelto, con fragmentos de grava fina; ligera reacción al NaF.
C2	60-80	Color: pardo oliva (2.5Y 4/3) en húmedo; textura: arena media; estructura: grano simple, suelto; mediana reacción al NaF.
2C3	80-95+	Color primario: amarillo pálido (2.5Y 8/2) en húmedo; color secundario: amarillo oliva (2.5Y 6/6) en húmedo; textura: arena; estructura: grano simple, suelto, con fragmentos de grava fina; mediana reacción al NaF.

3.2.3. Vertientes Externas

Estos paisajes están ubicados a los lados exteriores, occidental y oriental, del gran macizo de los Andes. El lado occidental se caracteriza por cambios bruscos de pendiente a medida que desciende hacia la región Costa, pero en el lado oriental el cambio de pendiente es más gradual en su descenso hacia la Amazonía gracias a la transición que ofrecen los relieves subandinos del domo del Napo. Las vertientes occidentales se originaron de la acumulación de material volcánico producto de erupciones y del arrastre de una variedad de sedimentos promovidos por la intensa tectónica que soportó el sector, mientras que las vertientes orientales se desarrollaron sobre formaciones metamórficas con la presencia de un manto de proyecciones piroclásticas de diverso espesor, modeladas únicamente por la erosión (Winckell, *et al.*, 1997a). En estas áreas se encuentran relieves montañosos, relieves colinados de diversa gradación, vertientes abruptas, abruptos, conos de deyección, coluviones y superficies onduladas ubicadas en sectores de menor pendiente y que siempre están demarcando coluvios aluviales y barrancos profundos. Estas vertientes forman verdaderas murallas delineadas por estrechos y profundos barrancos por donde circulan las aguas del amplio sistema hidrográfico de la región.

Las dos Vertientes Externas se localizan en sectores con climas entre subhúmedo y muy húmedo subtropical, con temperaturas promedio entre los 18 y 24 °C que, además, tienen una constante cobertura nubosa y neblina (Cañadas, 1983). Las vertientes occidentales presentan pluviosidades anuales que varían entre 1 500 y 3 000 mm, pero en las vertientes orientales la pluviosidad llega hasta 5 000 mm. La temperatura y las abundantes lluvias en ambas vertientes han promovido el desarrollo de un régimen isohipertérmico de temperatura del suelo y de un régimen de humedad údico y hasta perúdico en algunos sectores (Winckell, *et al.*, 1997b).

La cobertura de las Vertientes Externas está constituida por una vegetación arbórea densa que abarca las dos grandes áreas de bosques ombrófilos del país (vertientes noroeste y oriente), con gran diversidad florística y estaciones secas muy cortas o inexistentes. Hacia las zonas más altas emergen estratos de árboles grandes que luego pasan a arbustos y finalmente, en los sitios más altos, la cobertura es herbácea (Huttel, *et al.*, 1999).

Los principales suelos de estos paisajes son Andisoles, especialmente en las vertientes occidentales, donde las cenizas de las erupciones del Cuaternario se distribuyeron ampliamente arrastradas por los vientos alisios. Estos suelos tienen color pardo oscuro y son desaturados, vítreos, generalmente discontinuos en su distribución vertical (MIDENA, *et al.*, 2013x). Un suelo representativo de esta zona, clasificado como Thaptic Hapludands (Soil Survey Staff, 2006), se presenta en la **Figura 3.15** y se describe en el **Cuadro 3.8**.



Figura 3.15. Perfil del suelo clasificado como Thaptic Hapludands (izquierda, localizado en los bajos del cerro Bombolí, Aloag, Pichincha, sobre relieves volcánicos donde se cultivan pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013aa).

Cuadro 3.8. Características del perfil de suelo clasificado como Thaptic Hapludands (MIDENA, *et al.*, 2013aa).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A1	0-25	Color: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franca; estructura: granular, friable; ligera reacción al NaF; densidad aparente: 1.06 g cm ⁻³ ; pH: 6.5; materia orgánica: 9.2 %; CIC: 17 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 40 %.
A2	25-35	Color: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franca; estructura: masiva a bloques subangulares, friable; ligera reacción al NaF.
C	35-45	Color: oliva pardo (5Y 6/3) en húmedo; textura: arenosa; estructura: masiva, porosa, friable; media reacción al NaF.
2Ab	45-70+	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva a bloques subangulares, friable; fuerte reacción al NaF.

En estas zonas aparecen también suelos clasificados como Inceptisoles en áreas de alta pluviosidad, alta temperatura y fuertes pendientes que promueven el lavado continuo de las bases de intercambio y con señales de continua meteorización del material parental evidentes en la oxidación en el perfil (colores amarillos a rojos) (MIDENA, *et al.*, 2015a). Un suelo representativo de estas zonas, clasificado como Humic Dystrudepts (Soil Survey Staff, 2006), se presenta en la **Figura 3.16** y en el **Cuadro 3.9**.



Figura 3.16. Perfil del suelo clasificado como Andic Dystrudepts (izquierda) localizado en Chalguayacu, García Moreno, Imbabura, sobre relieves colinados muy altos dedicados al cultivo de pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2014b).

Cuadro 3.9. Características del perfil de suelo clasificado como Andic Dystrudepts (MIDENA, *et al.*, 2014b).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color: pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; textura: franco arcillo arenosa; estructura: granular a bloques subangulares, friable; ligera reacción al NaF; densidad aparente: 1.25 g cm ⁻³ ; pH: 6.2; materia orgánica: 3.9 %; CIC: 17 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 38 %.
Bw	20-50	Color: pardo oliva (2.5Y 4/3) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, friable; pH: 6.1; materia orgánica: 0.9 %; CIC: 11 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 25 %.
C	50-110+	Color primario: blanco (2.5Y 8/1) en húmedo; color secundario: pardo fuerte (7.5 YR 4/6) en húmedo; textura: arena gruesa; estructura: masiva, desmenuzable.

Las características ándicas de los suelos de estos paisajes se hacen gradualmente menos pronunciadas a medida que se ubican más al sur en la Sierra hasta que desaparecen, situación que se puede observar en los perfiles de Andisoles hacia el Norte (**Figura 3.17** y **Cuadro 3.10**) y los perfiles de Dystrudepts hacia el Sur (**Figura 3.18** y **Cuadro 3.11**).



Figura 3.17. Perfil del suelo clasificado como Typic Hapludands (izquierda) localizado en Río Macas, San Miguel de los Bancos, Pichincha, sobre una vertiente de cono de deyección antiguo (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013ae).

Cuadro 3.10. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Hapludands (MIDENA, *et al.*, 2013ae).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-10	Color: gris muy oscuro (7.5YR 3/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, friable; fuerte reacción al NaF; densidad aparente: 0.98 g cm ⁻³ ; pH: 5.7; materia orgánica: 5.4 %; CIC: 12 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 34 %.
BC	10-70	Color: pardo amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, firme; fuerte reacción al NaF; pH: 5.8; materia orgánica: 2.6 %; CIC: 11 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 18 %.
C	70-110	Color: pardo (10YR 4/3) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, firme; media reacción al NaF.



Figura 3.18. Perfil del suelo clasificado como Oxic Dystrudepts (izquierda) localizado en Estero Las Pavas, El Piedrero, límite entre Cañar y Guayas, sobre un relieve colinado que se cultiva con pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013l).

Cuadro 3.11. Características del perfil de suelo clasificado como Oxic Dystrudepts (MIDENA, *et al.*, 2013l).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color: pardo oscuro (7.5YR 3/4) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: bloques subangulares, friable; pH: 5.6; materia orgánica: 3.3 %; CIC: 16 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 56 %.
Bw	25-50	Color primario: rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; color secundario: rojo (2.5YR 5/8) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: masiva a bloques subangulares, friable, con fragmentos de grava gruesa; pH: 5.8; materia orgánica: 1.0 %; CIC: 18 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 59 %.
C	50-100+	Color: rojo (2.5YR 4/8) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: masiva, friable, con fragmentos de grava gruesa; pH: 5.8; materia orgánica: 0.4 %; CIC: 22 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 40 %.

3.2.4. Vertientes Internas

Este gran paisaje se divide en dos zonas: a) Vertientes Superiores ubicadas a altitudes mayores a 3 000 m s. n. m. limitando con las tierras frías de la cordillera; y b) Vertientes Inferiores, ubicadas sobre los 2 500 - 2 600 m s. n. m. (Winckell, *et al.*, 1997a).

Las Vertientes Superiores presentan extensiones cimaras onduladas, moldeadas por las coberturas glaciares y cubiertas por vegetación de páramo. Son zonas de frecuente cobertura nubosa, debido a que las grandes masas de aire provenientes del occidente y oriente han perdido gran parte de su humedad por precipitaciones descargadas en las vertientes externas y cimas frías (Winckell, *et al.*, 1997a).

Los suelos dominantes en esta zona son Andisoles de color negro, muy untuosos, en ocasiones con presencia de una capa subsuperficial arcillosa negra, denominada localmente chocoto (MIDENA, *et al.*, 2013j). Un suelo representativo de esta zona, clasificado como Typic Hapludands (Soil Survey Staff, 2006), se presenta en la **Figura 3.19** y en el **Cuadro 3.12**.



Figura 3.19. Perfil del suelo clasificado como Typic Hapludands (izquierda) localizado en San José, Huaca, Carchi, sobre un relieve volcánico colinado utilizado para la siembra de pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013o).

Cuadro 3.12. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Hapludands (MIDENA, *et al.*, 2013o).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, muy friable; fuerte reacción al NaF; densidad aparente: 0.69 g cm ⁻³ ; pH: 5.2; materia orgánica: 0.7 %; CIC: 15 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 75 %.
A1	20-53	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, firme; fuerte reacción al NaF; pH: 5.9; materia orgánica: 4.4 %; CIC: 19 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 71 %.
A2	53-96	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, friable; fuerte reacción al NaF; pH: 5.1; materia orgánica: 1.5 %.
C	96-130	Color: pardo amarillento (10YR 5/6) en húmedo; estructura: masiva, desmenuzable.

Por otra parte, las vertientes inferiores presentan pendientes muy suaves que son una transición gradual hacia los modelados de los paisajes inferiores de las cuencas interandinas. El clima es diferente a medida que cambia la altitud, pasando de húmedo a seco al descender de las zonas altas a las zonas bajas, conformando el sistema de microclimas característico del interior de las cordilleras que controla la cobertura vegetal. Esta situación ocurre porque las corrientes de aire húmedo provenientes de las llanuras deben remontar el obstáculo topográfico que ofrece la gran cordillera y en el camino descargan gran parte de su humedad en las vertientes externas y en las cimas frías de la cordillera para luego descender por el interior de la zona interandina como aire muy seco que va aumentando de temperatura a medida que alcanza el fondo de los valles (Cañadas, 1983). Esto ha hecho que el régimen de temperatura del suelo de las vertientes inferiores sea isotérmico. Por estas razones, en estas zonas predominan suelos clasificados como Mollisoles caracterizados por tener un epipedón de color oscuro, rico en bases de cambio y materia orgánica, condiciones favorables para el desarrollo radicular (MIDENA, *et al.*, 2012c). En algunas áreas se presentan, a diferente profundidad, capas endurecidas alternas denominadas cangahua formadas principalmente por la sedimentación de tobas volcánicas constituidas por ceniza consolidada y depósitos de ceniza no consolidada. Estas capas endurecidas, que limitan el desarrollo radicular, no califican como duripanes o fragipanes porque no se han consolidado por cementación con sílice iluvial sino por una mezcla de arcillas silicatadas y silicatos amorfos, por esta razón, se clasifican como protoduripanes, es decir, duripanes incipientes (Creutzberg, *et al.*, 1990; Zebrowski, *et al.*, 1997). Estos suelos se siembran una diversidad de cultivos con el apoyo de riego. Un suelo representativo de estas zonas, clasificado como Entic Durustolls (Soil Survey Staff, 2006), se presenta en la **Figura 3.20** y en el **Cuadro 3.13**.

Estos suelos, generalmente profundos, han sufrido un proceso acelerado de erosión que ha dejado en muchos sitios capas delgadas de suelo sobre la cangahua endurecida dejando poco espacio para el desarrollo radicular. En muchas áreas la cangahua se ha expuesto completamente.



Figura 3.20. Perfil del suelo clasificado como Typic Durustolls (izquierda) localizado en Payama, García Moreno, Carchi, sobre un relieve volcánico colinado (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2014a).

Cuadro 3.13. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Durustolls (MIDENA, *et al.*, 2014a).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color: pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo; textura: franca; estructura: granular, muy friable; pH: 6.7; materia orgánica: 2.2 %; CIC: 19 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 65 %.
Bt	20-35	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arcillosa; estructura: prismática subangular, firme; pH: 7.1; materia orgánica: 1.9 %; CIC: 17 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 62 %.
2Cqm	35-55+	Color: amarillo (10YR 7/6) en seco y pardo amarillento (10 YR 4/4) en húmedo; textura: franco limosa (cangahua); estructura: masiva, firme, capa cementada.

3.2.5. Fondos de Cuencas y Callejón Interandino

Las dos grandes cadenas volcánicas de la zona norte de los Andes Ecuatorianos forman en su interior un extenso callejón de alrededor de 350 km desde la frontera con Colombia hasta las cercanías del poblado de Alausí al Sur. Internamente, en sentido este-oeste, se presentan varios estratovolcanes, denominados nudos, que dividen este gran callejón en valles y cuencas pequeñas. Toda esta unidad está cubierta por suelos derivados de cenizas volcánicas (Winckell, *et al.*, 1997a).

Los Fondos de Cuenca y Valles Interandinos, que se ubican a altitudes entre los 2 000 y 3 000 m s. n. m., tienen una temperatura media anual que varía entre los 13 y 18 °C y una pluviosidad anual entre 200 y 500 mm que entregan su mayor descarga antes y después de los equinoccios y con una marcada estación seca en los meses de julio, agosto y septiembre. En algunos sectores el clima es árido (Cañadas, 1983). Estas condiciones han promovido el desarrollo de un régimen isotérmico de temperatura y un régimen ústico de humedad en el suelo (MIDENA, *et al.*, 2013y).

La cobertura vegetal del callejón interandino es variada y se distribuye en sistemas de producción por pisos altitudinales. Los sistemas de producción centrados en el cultivo de papa y pastos para la producción lechera se ubican en las partes más altas, mientras que hacia las zonas más bajas y calientes los sistemas giran alrededor de la producción de maíz y fréjol, pero en sectores con posibilidad de riego se cultivan hortalizas y frutales (Huttel, *et al.*, 1999). En las últimas décadas ha crecido significativamente la siembra de flores de corte bajo invernadero (especialmente la rosa) y a campo abierto como cultivos de alta rentabilidad para estas

zonas (PROECUADOR, 2019). En el año 2018, la superficie cosechada de flores a nivel nacional fue de 6 960 ha, donde la rosa es la especie predominante con un 73.9 % de la superficie cosechada (INEC, 2018).

Los suelos característicos de estas zonas están clasificados como Mollisoles, pero tienen cangahua a poca profundidad. Como suelo representativo de estas zonas se presenta el suelo clasificado como Entic Durustolls (Soil Survey Staff, 2006) en la **Figura 3.21** y en el **Cuadro 3.14**.

En las zonas más secas se presentan suelos clasificados como Entisoles caracterizados por tener poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes pedogenéticos (MIDENA, *et al.*, 2013y). Como representativo de estas zonas se presenta en la **Figura 3.22** y en el **Cuadro 3.15** el suelo clasificado como Typic Ustipsamments (Soil Survey Staff, 2006).



Figura 3.21. Perfil del suelo clasificado como Entic Durustolls (izquierda) localizado en Comuna Iguñaro, Quinche, Pichincha, sobre un relieve volcánico colinado (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013ah).

Cuadro 3.14. Características del perfil de suelo clasificado como Entic Durustolls (MIDENA, *et al.*, 2013ah).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color: pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; textura: franca; estructura: bloques subangulares, friable; ligera reacción al NaF; densidad aparente: 1.48 g cm ⁻³ ; pH: 6.1; materia orgánica: 4.4 %; CIC: 22 cmol kg ⁻¹ y saturación de bases: 87 %.
A	20-35	Color: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franco arcillosa; estructura: bloques subangulares, friable; ligera reacción al NaF.
Cqm	35-56+	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arcillosa (cangahua); estructura: masiva, firme; ligera reacción al NaF.

En las zonas secas existen suelos poco evolucionados que se caracterizan por ser sueltos, sin estructura, ricos en piedra pómez milimétrica y bajo contenido de materia orgánica. Estos suelos se clasifican como Psamments (**Figura 3.22** y **Cuadro 3.15**) o Vitrandes (**Figura 3.23** y **Cuadro 3.16**) y se diferencian porque el contenido de materia orgánica de los Vitrandes es > 1 %. Es común encontrarlos en la zona de Calderón al norte de Quito y la zona de Palmira en la provincia de Chimborazo, sitios donde se puede observar la formación de dunas talladas por el viento (Custode, *et al.*, 1999).



Figura 3.22. Perfil del suelo clasificado como Typic Ustipsamments (izquierda) localizado en Pacpo, Calderón, Pichincha, sobre una llanura de depósitos volcánicos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013af).

Cuadro 3.15. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Ustipsamments (MIDENA, *et al.*, 2013af).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color en húmedo: pardo grisáceo oscuro (2.5Y 4/2); color en seco: gris parduzco claro (2.5Y 6/2); textura: franco arenosa; estructura: granular, muy friable, con fragmentos de grava fina; media reacción al NaF; densidad aparente: 1.22 g cm ⁻³ ; pH: 7.2; materia orgánica: 0.6 %; CIC: 5 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 79.40 %.
A	20-35	Color: pardo oliva oscuro (2.5Y 3/3) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, grano simple, muy friable, con fragmentos de grava fina; media reacción al NaF; pH: 7.6; materia orgánica: 0.3 %.
C1	35-55	Color: pardo oliva (2.5Y 4/3) en húmedo; textura: arenosa; estructura: masiva, grano simple, suelto, con fragmentos de grava fina; media reacción al NaF.
2C2	55-80	Color: gris oliva claro (5Y 6/2) en húmedo; textura: areno francosa; estructura: masiva, muy friable, con fragmentos de grava fina; media reacción al NaF.
2C3	80-105	Color: gris parduzco claro (2.5Y 6/2) en húmedo; textura: areno francosa; estructura: masiva, porosa, friable; media reacción al NaF.



Figura 3.23. Perfil del suelo clasificado como Typic Ustivitrands (izquierda) localizado en Pungal, La Providencia, Chimborazo, sobre una terraza media (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2012a).

Cuadro 3.16. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Ustivitrands (MIDENA, *et al.*, 2012a).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-30	Color: gris oscuro (10YR 4/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, grano simple, friable, con fragmentos de grava fina; ligera reacción al NaF; pH: 7.1; materia orgánica: 1.7 %.
C1	30-52	Color: gris oscuro (10YR 4/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, grano simple, friable, con fragmentos de grava fina; media reacción al NaF; pH: 7.3; materia orgánica: 0.3 %.
2C2	52-64	Color: gris (10YR 6/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, desmenuzable, friable; media reacción al NaF.
3C3	64-84	Color: gris (10YR 5/1) en húmedo; textura: areno francosa; estructura: masiva, grano simple, friable, con fragmentos de grava fina; media reacción al NaF.
3C4	84-115+	Color: gris (10YR 5/1) en húmedo; textura: areno francosa; estructura: masiva, grano simple, friable, con fragmentos de grava fina; media reacción al NaF.

3.2.6. Medio Aluvial

Estos son paisajes influenciados directamente por la acción de los ríos. Son sistemas muy variables que cambian con el tiempo debido a los procesos erosivos y a la sedimentación, procesos que responden también a cambios climáticos, modificaciones de nivel de base, tectónica cuaternaria y a la continua actividad humana. Es decir, estos paisajes son el resultado del continuo desarrollo de la red fluvial andina en sus diferentes etapas de socavamiento y deposición de materiales en los cauces. La gran mayoría se ubica en las partes bajas del callejón andino, en climas secos (Winckell, *et al.*, 1997b).

La utilización agrícola de las zonas más secas o semiáridas del Medio Aluvial de la Sierra Norte es limitada y solamente sobreviven especies arbustivas espinosas (penco y cactus). En sitios donde existe acceso a riego se cultivan huertos de hortalizas y frutales. En algunos sitios existen bosques de eucalipto (Mejía, 1997; Huttel, *et al.*, 1999).

Los suelos de estas zonas de ambientes secos, que presentan pH alcalino y una elevada carga de bases, están clasificados mayormente como Entisoles. Un ejemplo es el suelo clasificado como Mollic Ustifluvents (Soil Survey Staff, 2006) que se presenta en la **Figura 3.24** y en el **Cuadro 3.17**. Existen suelos que presentan fragmentos de roca dentro del perfil (**Figura 3.25** y **Cuadro 3.18**.) producto del arrastre de materiales.

Es necesario diferenciar la presencia de fragmentos gruesos dentro del perfil de suelos formados por acción fluvial (**Figura 3.25**), de suelos formados por la acumulación de materiales coluvionados (**Figura 3.26** y **Cuadro 3.19**).



Figura 3.24. Perfil del suelo clasificado como Mollic Ustifluvents (izquierda) localizado en Caldera, San Rafael, Carchi, en una terraza media sobre la cual se siembra fréjol, cítricos y pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2014c).

Cuadro 3.17. Características del perfil de suelo clasificado como Mollic Ustifluents (MIDENA, *et al.*, 2014c).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-37	Color en húmedo: pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; color en seco: pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2); textura: franca; estructura: granular a bloques subangulares, muy friable, con fragmentos de grava media; pH: 7.4; materia orgánica: 1.3 %; CIC: 19 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 79 %.
2Ab	37-65	Color: pardo muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo; textura: franca; estructura: bloques subangulares, muy friable; pH: 7.5; materia orgánica: 1.5 %; CIC: 21 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 71 %.
2C	65-100+	Color: pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo, con moteados de color moteado principal pardo fuerte (7.5YR 4/6); textura: franco arenosa; estructura: masiva, muy friable.

**Figura 3.25.** Perfil del suelo clasificado como Aridic Ustifluents (izquierda) localizado en Apaqui, Los Andes, Carchi, en una terraza alta sobre la cual se siembra caña de azúcar y pimiento (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2014d).**Cuadro 3.18.** Características del perfil de suelo clasificado como Aridic Ustifluents (MIDENA, *et al.*, 2014d).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color en húmedo: pardo (10YR 4/3); color en seco: pardo pálido (10YR 6/3); textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, suelto; pH: 7.6; materia orgánica: 0.1 %; CIC: 20 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 94 %.
C	25-40	Color: pardo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; textura: areno francosa; estructura: masiva, desmenuzable, con fragmentos de grava gruesa.
Cr	40-80	Color: pardo (10YR 4/3) en húmedo; textura: areno francosa; estructura: masiva, grano simple, firme, con fragmentos de grava gruesa.



Figura 3.26. Perfil del suelo clasificado como Udorthentic Haplustolls (izquierda) localizado en La Gruta, Cotacachi, Imbabura, sobre un coluvión antiguo donde se siembran pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2014f).

Cuadro 3.19. Características del perfil de suelo clasificado como Udorthentic Haplustolls (MIDENA, *et al.*, 2014f).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-15	Color: pardo grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: granular, friable, con fragmentos de grava fina; pH: 6.7; materia orgánica: 1.8 %; CIC: 10 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 83 %.
A	15-30	Color pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; textura franco arenosa; estructura de bloques subangulares; friable; con fragmentos de grava fina.
C1	30-50	Color: pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, friable, con fragmentos de grava media; pH: 6.8; materia orgánica: 1.1 %; CIC: 12 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 74 %.
C2	50-72	Color: pardo amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, friable, con fragmentos de grava fina; ligera reacción al NaF.
2C3	72-93	Color: pardo amarillento muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, friable, con fragmentos de grava media; ligera reacción al NaF.
3C4	93-105	Color: gris muy oscuro (2.5Y 3/1) en húmedo; textura: franco arcillosa; estructura: masiva, friable, con fragmentos de cantos rodados; fuerte reacción al NaF.

3.3. Suelos de los Andes Centrales

Los Andes Centrales de Ecuador parten desde Palmira-Alausí y llegan hasta Zaruma-Saraguro en el sur (**Figura 3.27**). Esta unidad presenta características originales: la zona, de paisajes de apreciables extensiones, no tiene edificios volcánicos recientes, el relieve es monótono y se parece al altiplano y a pesar de ser una zona muy marcada por la huella glaciaria el relieve es heredado de un basamento diferente constituido por amplios derramamientos volcánicos antiguos. Los Andes en esta zona son más anchos alcanzando 40 km al oeste de Cuenca, mientras que la altitud baja progresivamente hacia el sur, donde el punto más alto solo alcanza 3 800 m s. n. m. al oeste de Zaruma. Los valles, de regular amplitud, aparecen en forma escalonada entre los 1 600 m s. n. m. en Santa Isabel y

2 500 m s. n. m. en Saraguro. Estos valles se abren hacia la Costa por grandes incisiones recortadas en la vertiente occidental por donde evacúan los ríos Huigra, Cañar y Jubones. Estas hendiduras facilitan la circulación atmosférica en la región (Winckell, *et al.*, 1997b).

En la Sierra Centro no hay volcanes ni recubrimientos piroclásticos recientes. Las cordilleras se asientan sobre basamentos antiguos (volcánicos y metamórficos) y la zona interandina está fragmentada en dos conjuntos de valles y cuencas sedimentarios distribuidos en forma paralela (**Figura 3.28**). La zona presenta una cobertura pedológica distribuida en una topo-climo-secuencia: en las partes altas los suelos son ferralíticos-fersialíticos a menudo humíferos, en la zona media los suelos son moderadamente evolucionados con características móllicas o vérticas y en las zonas bajas los suelos son poco evolucionados (Winckell, *et al.*, 1997b). Por lo anterior, en esta región se han identificado tres paisajes o geosistemas con diferentes tipos de suelos: a) Vertientes Superiores de las Cuencas Interandinas, b) Vertientes Inferiores y c) Relieves de Fondo de las Cuencas.

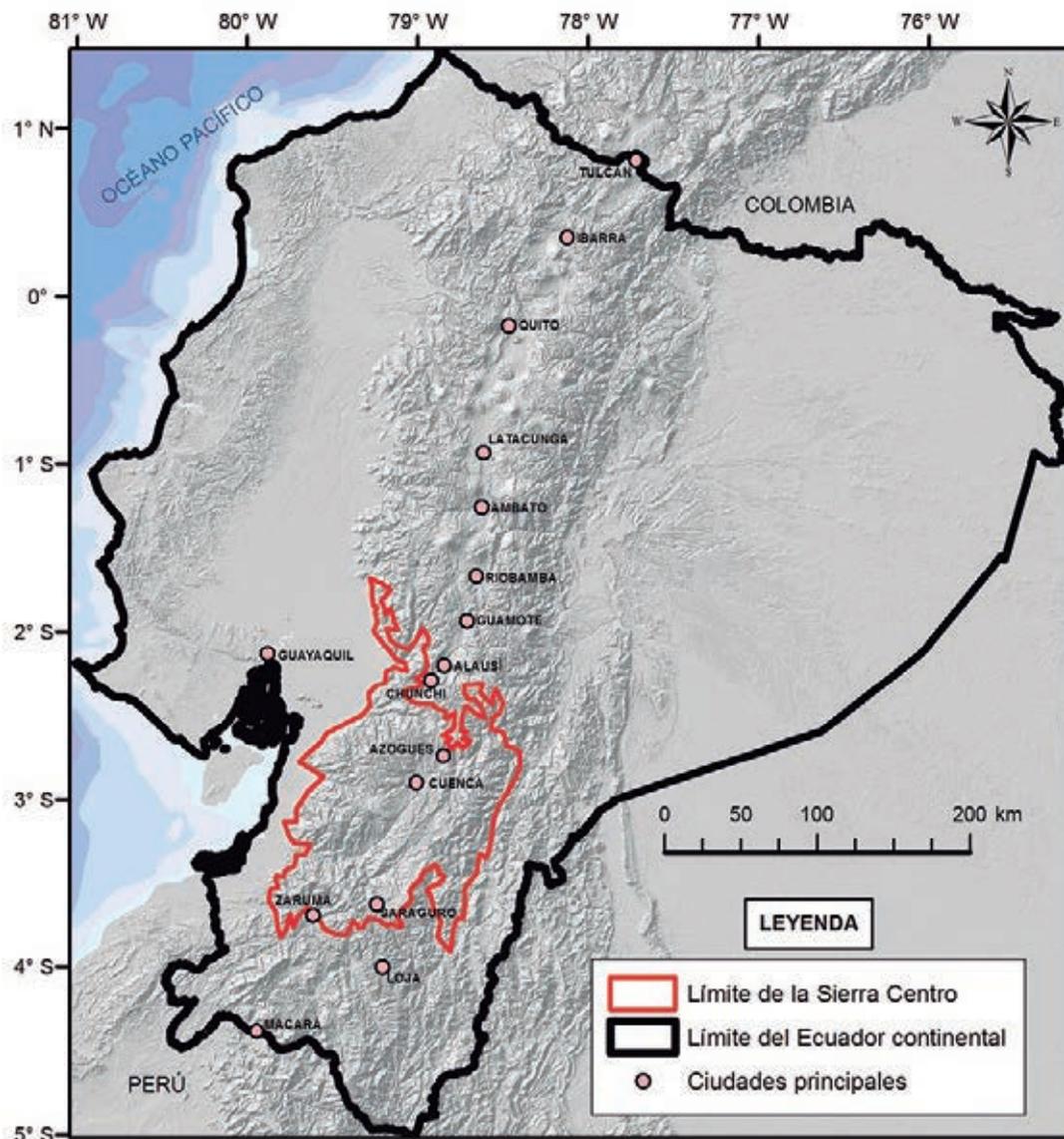


Figura 3.27. Ubicación de la Sierra Centro con respecto al Ecuador continental. Adaptado de Winckell, *et al.* (1997b).

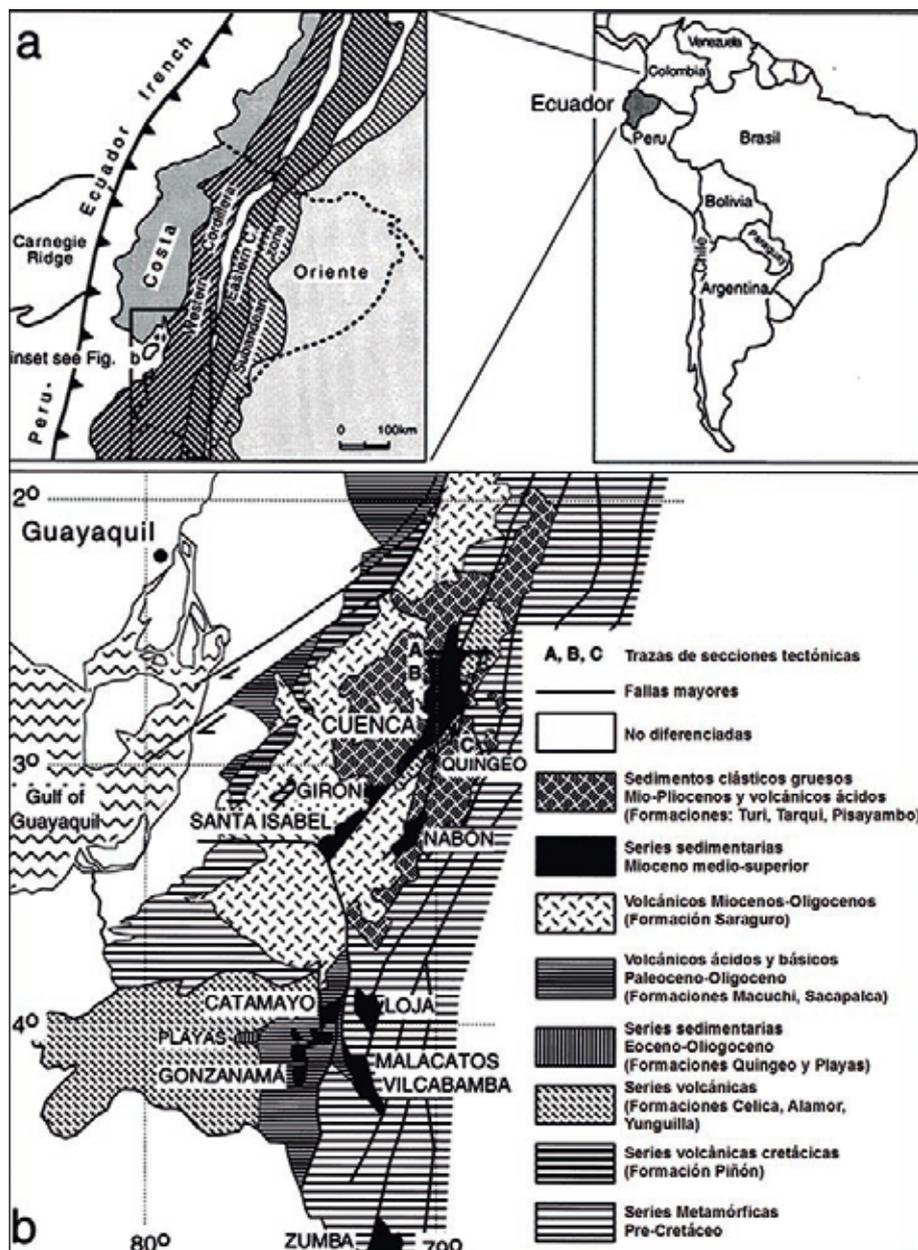


Figura 3.28. (a) Subdivisión morfotectónica del Ecuador; (b) Mapa geológico de la Sierra Centro y Sur con la ubicación de las principales cuencas sedimentarias (Steinmann, *et al.*, 1999).

3.3.1. Vertientes y Relieves Superiores

Estos paisajes se localizan principalmente en las partes superiores de las grandes entalladuras de los ríos León, Jubones y Paute. Se trata de grandes vertientes empinadas, con pendientes $> 50\%$. La precipitación media anual varía de 600 a 1 280 mm, con periodos secos de hasta seis meses. La altitud del límite inferior varía entre 1 600 a 2 800 m s. n. m., mientras que la cima alcanza altitudes de 3 200 m. s. n. m. Al occidente, los abruptos y escarpes rectilíneos están asentados sobre estratos más

coherentes (lavas, aglomerados e ignimbritas consolidadas) de formaciones volcánicas antiguas, mientras que al este los paisajes metamórficos se caracterizan por presentar una densa y fuerte disección en crestas agudas separadas por incisiones con faldas rectilíneas. En las zonas más húmedas, localizadas a mayor altitud, los suelos tienen alto contenido de materia orgánica y baja saturación de bases (**Figura 3.29** y **Cuadro 3.20**), mientras que en las zonas menos húmedas y de menor altitud (2 200 a 2 800 m s. n. m.) los suelos son fersialíticos, medianamente profundos y desaturados (**Figura 3.30** y **Cuadro 3.21**) (Winckell, *et al.*, 1997b).

Esta zona está ocupada por grandes superficies de praderas en pequeñas propiedades y grandes explotaciones extensivas hasta el límite con los páramos. Además, existen minifundios donde se cultiva cebada, haba, papa y maíz para choclo en las zonas altas y maíz y el fréjol en las zonas bajas (Winckell, *et al.*, 1997b).



Figura 3.29. Perfil del suelo clasificado como Ultic Hapludalfs (izquierda) localizado en Buena Vista, Ludo, Azuay, sobre un relieve volcánico colinado (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013w).

Cuadro 3.20. Características del perfil de suelo clasificado como Ultic Hapludalfs (MIDENA, *et al.*, 2013w).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-20	Color: gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, firme; pH: 5.9; materia orgánica: 5.5 %; CIC: 12 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 27 %.
AB	20-30	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franca; estructura: bloques angulares, firme; pH: 6.3; materia orgánica: 4.3 %; CIC: 10 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 31 %.
Bt	30-80	Color primario: negro (10YR 2/1) en húmedo; color secundario: pardo pálido (10 YR 6/3); textura: franco arcillosa; estructura: bloques angulares, firme; pH: 6.3; materia orgánica: 2.7 %.
C	80-100+	Color: pardo amarillento claro (2.5Y 6/3) en húmedo; textura: areno francosa; estructura: masiva, friable.



Figura 3.30. Perfil del suelo clasificado como Typic Dystrudepts (izquierda) ubicado en La Esmeralda, San José de Raranga, Azuay, sobre un relieve volcánico colinado en una pendiente del 25 a 40 % (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013v).

Cuadro 3.21. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Dystrudepts (MIDENA, *et al.*, 2013v).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-25	Color: gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; textura: franco arcillo arenosa; estructura: bloques subangulares y angulares, friable; pH: 5.6; materia orgánica: 5.3 %; CIC: 14 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 56 %.
A	25-40	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arcillo arenosa; estructura: bloques angulares, friable; pH: 5.4; materia orgánica: 3.4 %; CIC: 10 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 35 %.
Bw	40-60	Color primario: rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; color secundario: pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: bloques subangulares, firme.
C	60-95	Color: rojo amarillento (5YR 5/8) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: masiva, firme.

En estos paisajes también se pueden observar superficies con cobertura parcial de materiales piroclásticos como los presentes en el cantón Sigüig, Azuay (**Figura 3.31** y **Cuadro 3.22**) (MIDENA, *et al.*, 2013i).



Figura 3.31. Perfil del suelo clasificado como Typic Hapludands (izquierda) ubicado en Pin Juma, Gima, Sigsig, Azuay sobre un relieve colinado alto en una pendiente > 70 % (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013u).

Cuadro 3.22. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Hapludands (MIDENA, *et al.*, 2013u).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, friable; ligera reacción al NaF; pH: 4.6; materia orgánica: 11.4 %; CIC: 22 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 22 %.
A	20-45	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: bloques subangulares, friable; fuerte reacción al NaF; pH: 5.0; materia orgánica: 6.9 %; CIC: 16 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 28 %.
Bw	45-70	Color: pardo oscuro (10YR 3/3) en húmedo; textura: franco arcillosa; estructura: bloques subangulares a masiva, friable; fuerte reacción al NaF.
C	70-100+	Color: pardo amarillento oscuro (10YR 4/6) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: masiva, firme; fuerte reacción al NaF.

3.3.2. Vertientes Inferiores

Estos paisajes son una continuidad topográfica de las Vertientes Superiores. Se ubican en la parte baja de las vertientes internas andinas y se desplazan hasta entrar en contacto con los pisos de las cuencas. Estas estribaciones presentan relieves más suaves que las vertientes superiores. El clima de esta zona es más seco, con precipitaciones que generalmente varían de 475 a 750 mm con periodos secos de hasta 10 meses. Un ejemplo de estos paisajes son las vertientes ubicadas en las parte inferior de las cuencas de Oña (entre 1 800 y 2 300 m s. n. m.) y Saraguro (entre 2 400 y 2 800 m s. n. m.), así como las entalladuras de la cuenca del Paute. Los cultivos principales son maíz, maíz asociado con el fréjol y trigo en las partes más altas (Winckell, *et al.*, 1997b).

Los suelos en estas áreas son vertisoles muy arcillosos cuando el material parental proviene de rocas metamórficas (**Figura 3.32** y **Cuadro 3.23**) y vertisoles arcillo-pedregosos cuando el material es sedimentario (**Figura 3.33** y **Cuadro 3.24**) (MIDENA, *et al.*, 2013i).



Figura 3.32. Perfil del suelo clasificado como Chromic Haplusterts (izquierda) ubicado en Daniel Córdova Toral, Gualaceo, Azuay, sobre una vertiente heterogénea con fuerte disección en pendientes de 25 a 40 % (derecha) (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015).

Cuadro 3.23. Características del perfil de suelo clasificado como Chromic Haplusterts (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2015).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-35	Color: pardo (10YR 4/2) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: granular, firme; pH: 6.3; materia orgánica: 3.3 %; CIC: 9.3 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 141 %.
Bss	35-85	Color: gris (10YR 3/1) en húmedo con moteados pardos (5YR 3/4); textura: arcillosa; estructura: bloques subangulares y angulares, muy firme; pH: 6.3; materia orgánica: 1.5 %; CIC: 7.3 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 157 %.
Cr	85-95	Roca fragmentada.



Figura 3.33. Perfil de suelo clasificado, como Typic Argiudolls (izquierda) ubicado en Charunes, San Bartolomé, Azuay, en pendientes < 40 % (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013p).

Cuadro 3.24. Características del perfil de suelo clasificado como Typic Argiudolls (MIDENA, *et al.*, 2013p).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-15	Color: gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; textura: franco arcillosa; estructura: bloques angulares y subangulares, firme, con fragmentos de grava fina; ligera reacción al NaF; pH: 6.9; materia orgánica: 1.3 %; CIC: 20 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 98 %.
A	15-35	Color: gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo; textura: franco arcillosa; estructura: bloques angulares, firme; ligera reacción al NaF; pH: 7.0; materia orgánica: 1.0 %; CIC: 35 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 97 %.
Bt	35-57	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: bloques angulares, firme, con fragmentos de grava fina; ligera reacción al NaF.
C	57-80+	Color: rojo débil (10R 5/2) en húmedo; textura: arcilla pesada; estructura: masiva, firme; sin reacción al NaF.

3.3.3. Fondos de las Cuencas

Los paisajes de esta zona están localizados a menor altitud y son menos accidentados. Por su situación geográfica son más abrigados y secos que los relieves circundantes, sin embargo, en la franja entre 1 000 y 3 000 m s. n. m. existen variaciones de humedad que van desde muy secas hasta húmedas. Las zonas más húmedas se encuentran en el valle de Cuenca con 835 mm de precipitación media anual y dos meses secos, mientras que los valles que desembocan en la región costanera, como la cuenca de Cañar, son más secos con solamente 500 mm de precipitación media anual y con ocho meses sin lluvia. Los pisos de las cuencas tienen, en general, pendientes suaves con bajo desnivel relativo. Un ejemplo de los suelos de esta zona se presenta en la **Figura 3.34** y en el **Cuadro 3.25**. Este suelo, clasificado como Mollic Udifluvents (Soil Survey Staff, 2006), está ubicado en el fondo de la cuenca del río Paute, donde las condiciones de clima más seco hacen que la saturación de bases sea muy alta (> 90 %) (Winckell, *et al.*, 1997b; MIDENA, *et al.*, 2013i).

Cabe indicar que estos fondos de cuencas están relativamente cercanos a las vertientes inferiores, con condiciones climáticas y altitudinales similares. El sistema agrícola dominante está basado en la típica asociación maíz-fréjol y praderas (Winckell, *et al.*, 1997b).



Figura 3.34. Perfil de suelo clasificado como Vertic Haplustolls (izquierda) ubicado en Cuenca, Azuay, sobre un valle fluvial con una pendiente < 5 % (derecha) (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2016).

Cuadro 3.25. Características del perfil de suelo clasificado como Vertic Haplustolls (MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA, 2016).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-28	Color: gris (10YR 3/1) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: granular a bloques subangulares, friable, con fragmentos de grava media; pH: 6.5; materia orgánica: 4.9 %; CIC: 31 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 81 %.
Bw	28-45	Color: negro (10YR 2/1) en húmedo con moteados rojos (5 YR 5/8); textura: arcilla pesada; estructura: bloques angulares, friable, con cantos rodados; pH: 6.7; materia orgánica: 2.2 %; CIC: 39 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 65 %.
C	45-70	Color primario: pardo (10YR 5/2) en húmedo; color secundario negro (10YR 2/1); moteados rojos (5YR 5/8); textura: arcilla pesada; estructura: masiva.

3.4. Suelos de los Andes Meridionales (Sierra Sur)

La delimitación de los paisajes de la Sierra Austral es muy particular. El primer nivel de diferenciación es clima-fisiográfico, debido a que existe una alta correlación entre el tipo de suelo con la gradiente climática, condición que arregla los paisajes en tres grandes conjuntos morfo-edafológicos: a) Macizos Húmedos, b) Vertientes de Transición y c) Zonas Bajas con Sequía Acentuada. Es también importante observar las relaciones entre los tipos de roca y sus alteraciones en la formación de los suelos para entender algunas de las anomalías aparentes de la distribución de los paisajes. Esta relación permite dividir los paisajes en cuatro grandes tipos: a) Granitos, b) Formaciones Metamórficas (volcánicas o volcano-sedimentarias), c) Sedimentos Terciarios y d) Depósitos Coluviales de Glacis. Asimismo, varias generaciones de alteritas y suelos consolidados, ordenados en paleo-topo-climo secuencias, cubren los relieves actuales en una secuencia de suelos ferralíticos-fersialíticos. En síntesis, los suelos de la Sierra Austral tienen una secuencia climática sobrepuesta a una paleosecuencia: en altura se formaron suelos fersialíticos, saturados, ricos en minerales 2:1, con rastros de minerales 1:1 que se juntan con paleosuelos ferralíticos desaturados; en cambio, en las zonas bajas se observan principalmente Vertisoles, a menudo poco evolucionados por erosión, circundados por los paleosuelos fersialíticos (Zebrowski and Sourdat, 1997).

3.4.1. Relieves de la Sierra Sur

Los suelos de esta unidad están ubicados en relieves abiertos, con grandes valles y depresiones ortogonales, donde la cordillera oriental es la única línea continua de relieve (**Figura 3.35**). Las cimas de los paisajes son altas (> 2 800 m s. n. m.) y el punto de mayor altura alcanza 3 791 m s. n. m. en las proximidades de la frontera con Perú. A partir de esta barrera, la altitud disminuye en dirección Oeste y Noroeste (**Figura 3.36**). Los modelados son siempre impresionantes y cerca de la línea divisoria de aguas se localiza un estrecho rosario de relieves glaciares. Este gran macizo es solamente atravesado por dos escotaduras: la garganta del valle del río Zamora a 1 800 m s. n. m. y la brecha sur a 2 800 m s. n. m. (Winckell, *et al.*, 1997b).

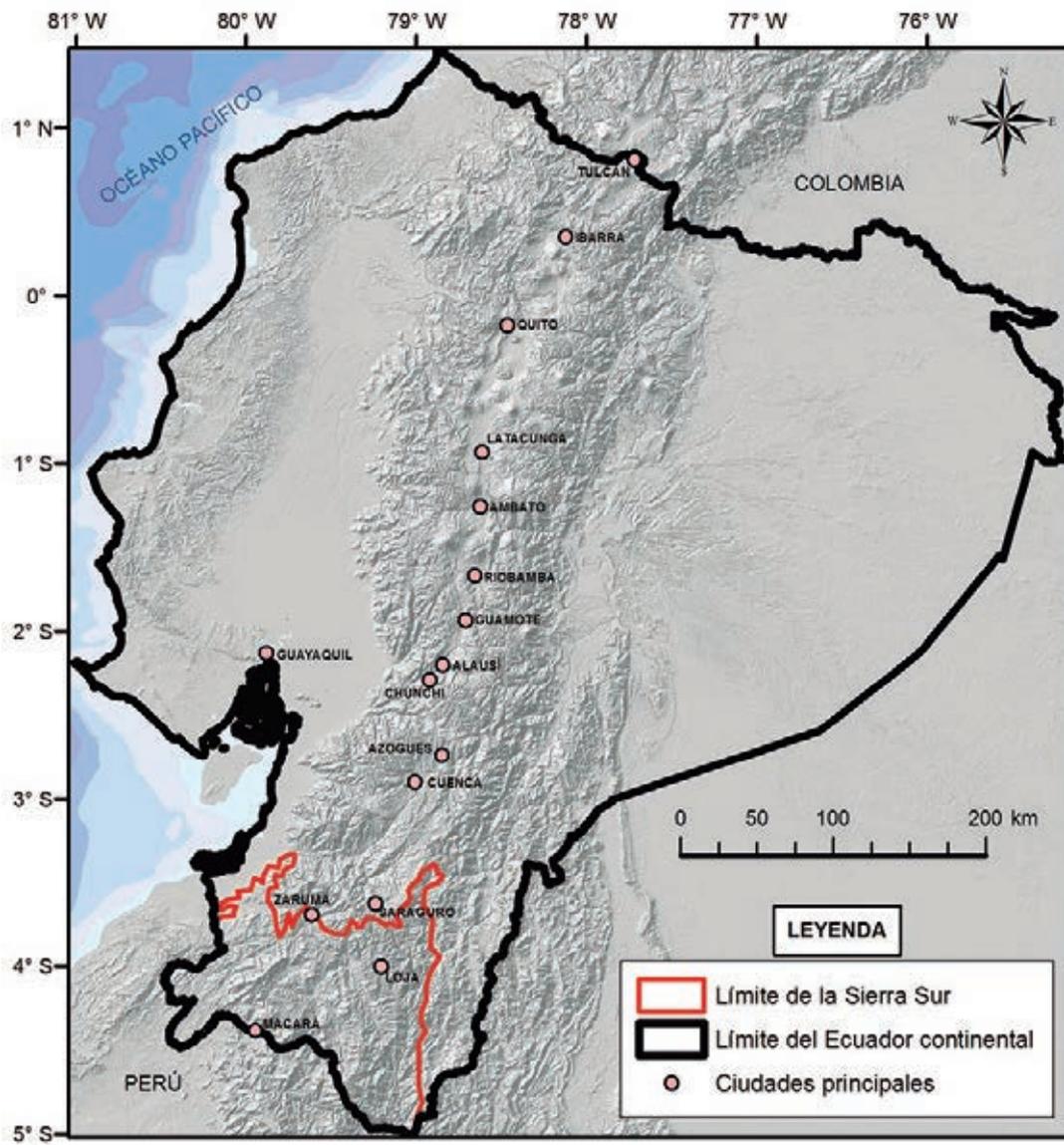


Figura 3.35. Ubicación de la Sierra Sur con respecto al Ecuador continental. Adaptado de Winckell, *et al.* (1997b).

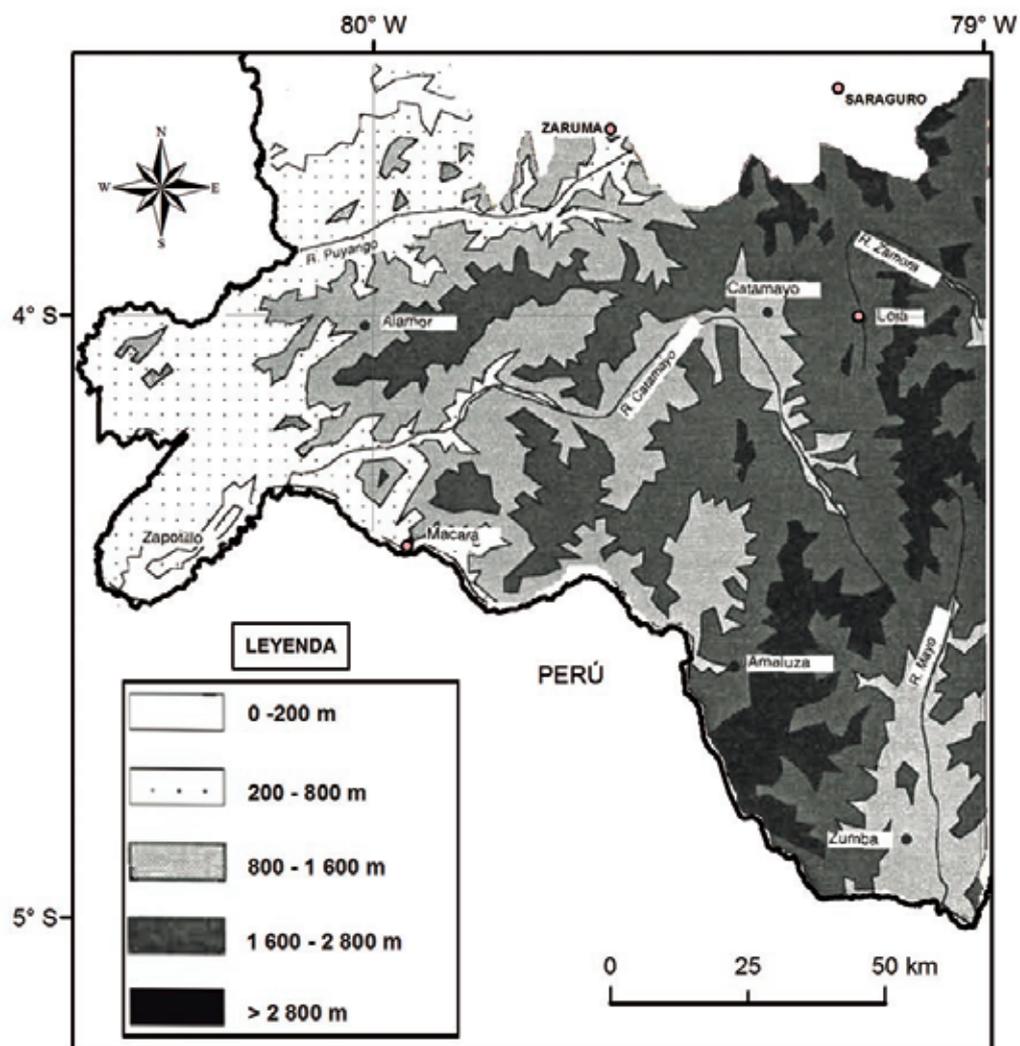


Figura 3.36. Zonas altimétricas de la Sierra Sur (Winckell, *et al.*, 1997b).

3.4.2. Geología y Clima

En la Sierra Sur no existe actividad volcánica reciente (post-oligocena) como existe en la Sierra Norte, lo que se traduce en la ausencia de proyecciones piroclásticas superficiales y las formaciones superficiales se derivan exclusivamente de las transformaciones del substrato. Los macizos australes presentan una litología de facies metamórficas, intrusivas, graníticas, volcánicas y volcano-sedimentarias, complementados con la presencia de algunos depósitos sedimentarios muy localizados (Figura 3.37) (Winckell, *et al.*, 1997b).

El clima de la Sierra Sur guarda estrecha relación con la altimetría (Figura 3.38). En la parte alta, las cimas son muy húmedas y las laderas son húmedas, pero las precipitaciones se reducen a medida que disminuye la altitud y los valles y cuencas tienen pisos climáticos muy secos y hasta áridos (Winckell, *et al.*, 1997b; MIDENA, *et al.*, 2013g, 2013h, 2013c, 2013d, 2013a).

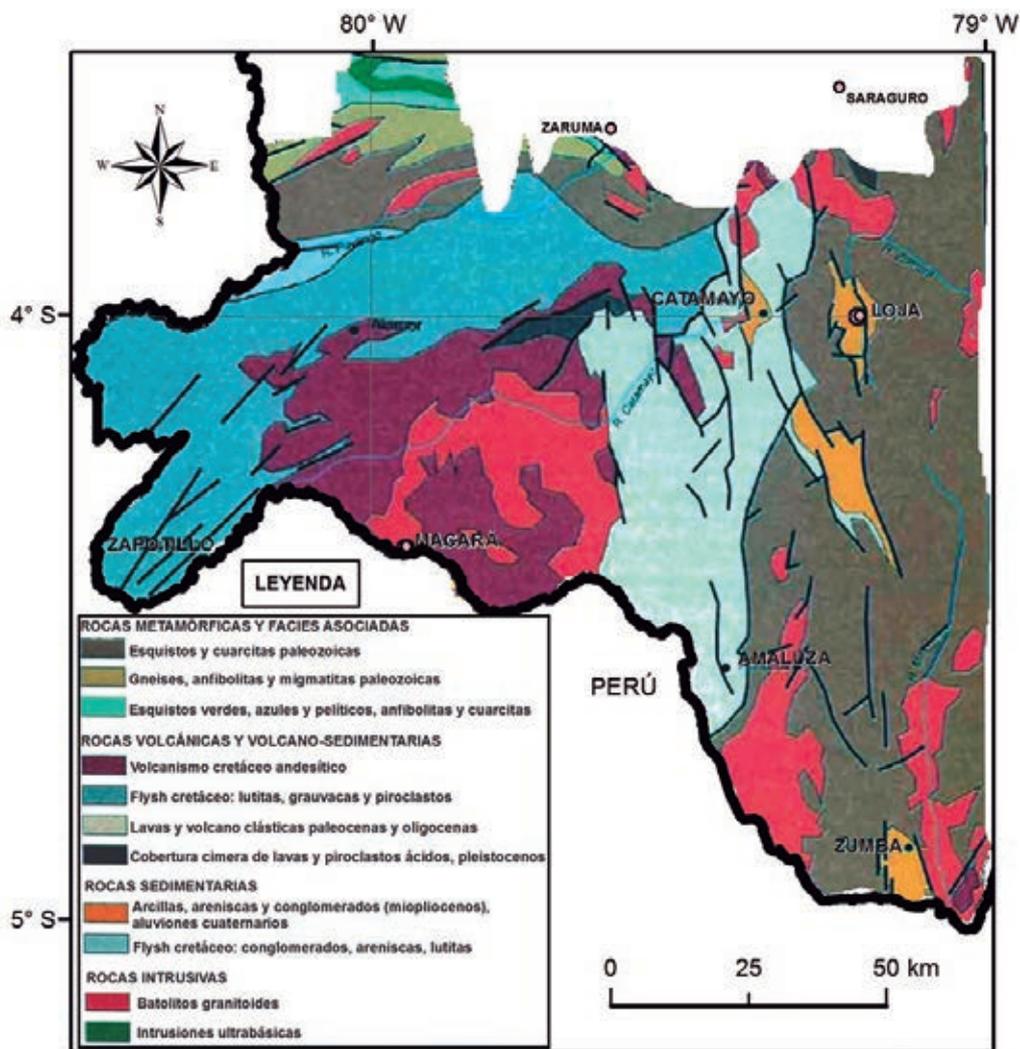


Figura 3.37. Formaciones litológicas de la Sierra Sur. Adaptado de Winckell, *et al.* (1997b).

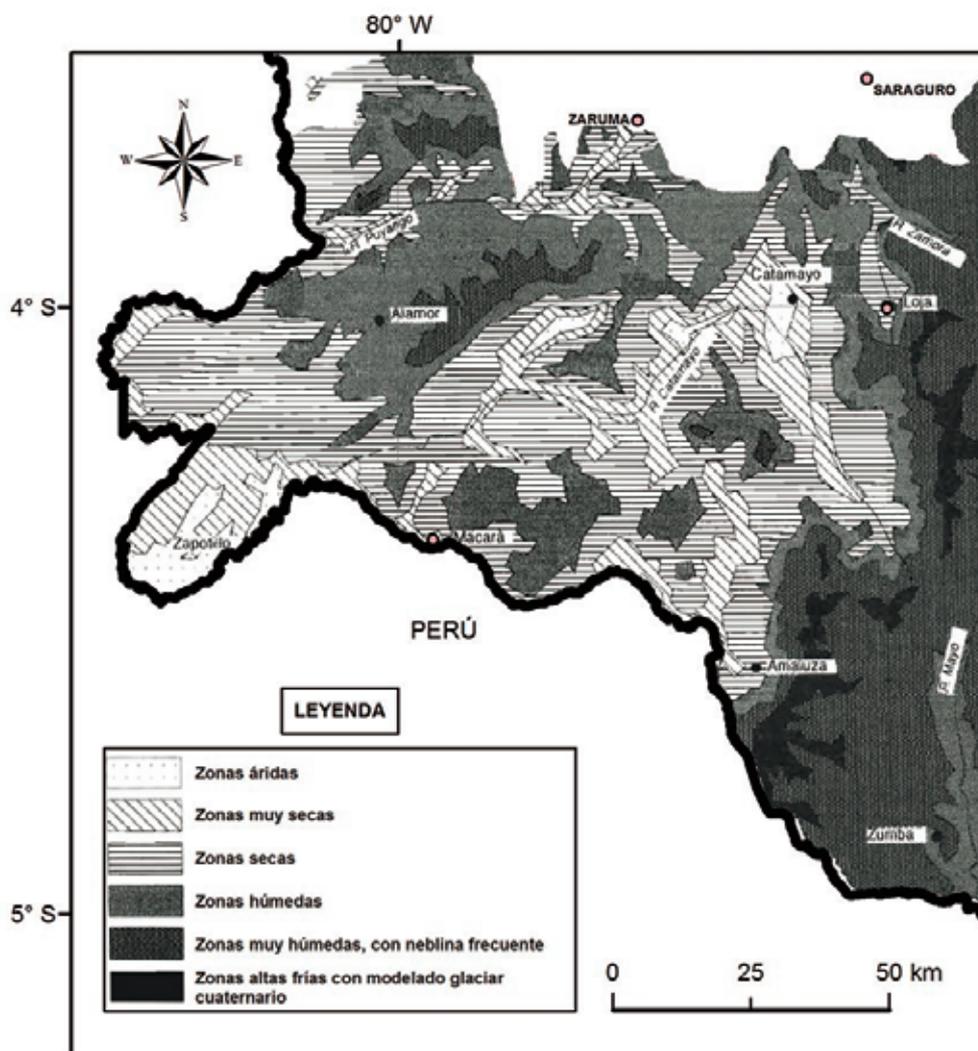


Figura 3.38. Zonas de humedad de la Sierra Austral. Adaptado de Winckell, *et al.* (1997b).

Debido a sus características particulares y su complejidad es mejor describir los suelos de la Sierra Sur agrupándolos en tres grandes paisajes: a) Partes Altas de los Macizos; b) Partes Medias e Inferiores de las Vertientes y; c) Fondos de Cuencas (valles).

3.4.3. Partes Superiores de los Macizos

Las partes cimeras y superiores húmedas no son extensas y bajo la influencia de las circulaciones pacíficas o amazónicas subsiste la selva perennifolia característica de las vertientes altas. En la parte superior de las posiciones interandinas las vertientes están cubiertas por la vegetación de matorral, pero más abajo están cubiertas por asociaciones complejas de vegetación arbórea, arbustiva o herbácea asociadas con

grandes zonas erosionadas. En los sectores más húmedos dominan los pastizales, mientras las vertientes interandinas más abrigadas están ocupadas por cultivos de subsistencia (principalmente la asociación maíz-yuca) y caña de azúcar para alcohol y panela. En la vertiente occidental, completamente expuesta a las circulaciones pacíficas, se encuentran asociaciones de pastos cultivados con cultivos tropicales perennes (café, naranja) y caña de azúcar con cultivos de subsistencia (maíz, yuca). Por otro lado, la existencia de una intensa dinámica paleo-morfológica sobre estos paisajes dejó huellas indelebles en sus formas y formaciones superficiales. Estos paisajes, heredados de un periodo más húmedo, están hoy totalmente recolonizadas por la vegetación y están generalmente estabilizados. Estas condiciones son claramente evidentes en los paisajes por la presencia de manchas rojizas cuando están sobre alteritas ferralíticas antiguas o café-amarillentas a blanquecinas cuando se trata de formaciones superficiales actuales (Winckell, *et al.*, 1997b; Zebrowski and Sourdat, 1997; MIDENA, *et al.*, 2013g; IGM, 2019b). Estos paisajes presentan características climáticas relativamente homogéneas. Las zonas más húmedas, localizadas cerca de la cordillera oriental, tienen entre 1 y 2 meses secos (por ejemplo, Yangana), el sector central tiene 4 meses secos y la parte occidental de 6 a 8 meses secos (Winckell, *et al.*, 1997b; MIDENA, *et al.*, 2013c, 2013d).

La herencia geológica y la litología del basamento de esta zona afectaron la distribución de las formaciones superficiales, así como la de los suelos, haciendo que sean comunes los suelos desarrollados principalmente sobre litografía volcánica y volcano-sedimentaria, accesoriamente metamórfica, pero se presentan también suelos desarrollados sobre basamento granítico (MIDENA, *et al.*, 2013c, 2013d). Sobre las rocas volcánicas y volcano-sedimentarias predominan suelos clasificados como Inceptisoles y Ultisoles (Soil Survey Staff, 2006), siendo los segundos los más antiguos (paleosuelos) (IGM, 2019a). Dentro de los Inceptisoles se encuentran los suelos clasificados como Oxic Dystrudepts (Soil Survey Staff, 2006) (**Figura 3.39** y **Cuadro 3.26**) sobre los cuales se cultiva maíz y maní, productos que dinamizan la economía del lugar y que luego se alternan con pastizales en la época seca (IGM, 2019a).



Figura 3.39. Perfil de suelo clasificado como Oxic Dystrudepts (izquierda), con colores pardos en la superficie y rojo amarillentos a profundidad, localizado en un relieve colinado muy alto en Zapallas, La Tingue, Loja (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013s).

Cuadro 3.26. Características del perfil de suelo clasificado como Oxic Dystrudepts (MIDENA, *et al.*, 2013s).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-16	Color en húmedo: pardo oscuro (7.5YR 3/4); color en seco: pardo amarillento oscuro (10YR 4/4); textura: arcilla pesada; estructura: granular a bloques subangulares, firme; pH: 5.2; materia orgánica: 6.6 %; CIC: 23 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 46 %.
Bw	16-29	Color: rojo amarillento (5YR 4/6) en húmedo; textura: arcilla pesada; estructura: bloques subangulares, firme, con fragmentos de grava media; pH: 5.1; materia orgánica: 2.5 %; CIC: 20 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 41 %.
Cr	29-100+	Color primario: rojo (2.5YR 4/8); color secundario: pardo fuerte(7.5YR 5/8) en húmedo; textura: arcilla pesada; estructura: masiva, firme, con fragmentos de grava gruesa.

También se han identificado en esta zona suelos muy antiguos (paleosuelos), clasificados como Ultisoles (Soil Survey Staff, 2006), que se caracterizan por tener un horizonte Bt, baja saturación de bases y alta acidez, lo que indica que se desarrollaron en una época con más humedad que la actual. El perfil de un suelo representativo de estos paleosuelos se presenta en la **Figura 3.40** y el **Cuadro 3.27**.



Figura 3.40. Perfil de suelo clasificado como Humic Hapludults (izquierda) en el cual es evidente la presencia de un horizonte Bt de color pardo oscuro. El suelo está ubicado en un relieve montañoso de Loma México, Guachamana, Paltas, Loja sobre el cual se cultiva de maíz y se mantienen pastizales (MIDENA, *et al.*, 2013q).

Cuadro 3.27. Características del perfil de suelo clasificado como Humic Hapludults (MIDENA, *et al.*, 2013q).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color en húmedo: pardo oscuro (7.5YR 3/4); color en seco: pardo amarillento (10YR 5/4); textura: arcillosa; estructura: bloques subangulares, firme, con fragmentos de grava media; pH: 6.0; materia orgánica: 5.4 %; CIC: 26 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 54 %.
Bt	20-45	Color: pardo oscuro (7.5YR 3/4) en húmedo; textura: arcilla pesada; estructura: bloques subangulares, friable, con fragmentos de grava fina; pH: 6.1; materia orgánica: 2.8 %; CIC: 24 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 30 %.
Ct	45-95	Color primario: amarillo rojizo (7.5YR 6/8) en húmedo; color secundario amarillo (5YR 5/8) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: masiva, firme, con fragmentos de grava gruesa; pH: 5.4; materia orgánica: 0.5 %.

3.4.4. Partes Medias e Inferiores de las Vertientes

Debido a sus características climáticas más secas, este piso intermedio tiene facies que están cubiertas con vegetación que va de arbustiva relativamente abierta a vegetación espinosa casi cerrada. En estas áreas se cultiva maíz asociado con otros cultivos de subsistencia como el maní. En las partes superiores, menos secas, los pastizales ocupan extensiones mayores. En las partes inferiores, más secas, aparecen asociaciones de maíz, caña de azúcar y yuca (Winckell, *et al.*, 1997b; MIDENA, *et al.*, 2013a; IGM, 2019b). En estos paisajes existen áreas muy erosionadas debido a que la cobertura vegetal es pobre y discontinua producto del clima seco a muy seco y porque están ubicados en pendientes generalmente > al 40 % (Winckell, *et al.*, 1997b).

Por otro lado, estos paisajes se subdividen en forma relativamente sencilla, por un lado, la roca madre juega un papel dominante (se distinguen los paisajes sobre granitos), mientras que la gradiente climática distingue, a su vez, las partes intermedias, de condiciones secas, de las inferiores que son muy secas (MIDENA, *et al.*, 2013a).

Los suelos que predominan en esta parte de las vertientes son principalmente Inceptisoles, seguidos de Entisoles. Estos son suelos de tonalidades rojizas, cafés o amarillentas, según la composición de las formaciones superficiales (Zebrowski and Sourdat, 1997; MIDENA, *et al.*, 2013e). En la **Figura 3.41** y en el **Cuadro 3.28** se presenta el perfil de un suelo clasificado como Udic Haplustepts (Soil Survey Staff, 2006), desarrollado sobre rocas de volcanismo antiguo y rocas metamórficas. Estos Inceptisoles son poco profundos, tienen texturas franco arcillosas y presencia de grava media en todo el perfil (MIDENA, *et al.*, 2013e).



Figura 3.41. Perfil del suelo clasificado como Udic Haplustepts (izquierda) en Naypicara, Alamor, Loja, ubicado sobre un relieve colinado (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013r).

Cuadro 3.28. Características del perfil de suelo clasificado como Udic Haplustepts (MIDENA, *et al.*, 2013r).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color en húmedo: pardo muy oscuro (10YR 2/2); color en seco: pardo grisáceo oscuro (10YR 4/2); textura: arcilloso; estructura: bloques subangulares, muy firme, con fragmentos de grava fina; pH: 6.5; materia orgánica: 5.6 %; CIC: 28 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 86 %.
Bw	20-45	Color: negro (7.5YR 2.5/1) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: bloques subangulares, muy firme, con fragmentos de grava fina; pH: 6.7; materia orgánica: 3.2 %; CIC: 32 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 75 %.
BC	45-56	Color: pardo fuerte (7.5YR 4/6) en húmedo; textura: arcillo limosa; estructura: bloques subangulares a masiva, firme, con fragmentos de grava fina; pH: 6.1; materia orgánica: 1.1 %.
C	56-100+	Color: pardo fuerte (7.5YR 5/8) en húmedo; textura: arcilla; estructura: masiva, firme, con fragmentos de grava fina.

Por otro lado, los Entisoles de esta zona son suelos que tienen contacto con roca continua a 50 cm de profundidad, lo que restringe el crecimiento de las diferentes especies vegetales que se desarrollan sobre ellos, por esta razón, estos suelos están cubiertos por vegetación herbácea seca muy alterada que no cubre bien la superficie, lo que facilita los procesos erosivos. Un suelo representativo de estos Entisoles es el clasificado como Lithic Ustorthents (Soil Survey Staff, 2006) que se presenta en la **Figura 3.42** y en el **Cuadro 3.29**.

**Figura 3.42.** Perfil del suelo clasificado como Lithic Ustorthents (izquierda) en Las Limas, Espíndola, Loja, ubicado sobre un relieve colinado alto (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013m).**Cuadro 3.29.** Características del perfil de suelo clasificado como Lithic Ustorthents (MIDENA, *et al.*, 2013m).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A	0-8	Color: pardo rojizo oscuro (5YR 3/2) en húmedo; textura: franca; estructura: granular a bloques subangulares, friable, con fragmentos de grava media; pH: 6.9; materia orgánica: 4.0 %; CIC: 32 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 81 %.
Cr	8-50	Roca meteorizada
R	50+	Roca

3.4.5. Fondos de Cuencas

La temperatura media anual de los fondos de los valles bajos es $> 22\text{ }^{\circ}\text{C}$, ejemplos son Macará con $24.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 430 m s. n. m. y La Toma con $23.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 1 240 m s. n. m., mientras que en las cuencas más elevadas, como Loja, la temperatura media anual es de $\sim 16\text{ }^{\circ}\text{C}$ a 2 140 m s. n. m. En general, la precipitación se relaciona bien con la temperatura, las zonas más húmedas corresponden a las partes más altas y frescas como Loja, con una precipitación media anual de 910 mm y de 1 a 3 meses secos, mientras que las zonas bajas son secas o muy secas como el caso de Macará con 670 mm y 11 meses secos. En los valles ubicados en los pisos intermedios hay más variación: existen sectores secos y sectores húmedos, por ejemplo, la precipitación media anual de Río Pindo es de 1 465 mm (Winckell, *et al.*, 1997b; MIDENA, *et al.*, 2013b).

En los valles bajos, caracterizados por cuencas sedimentarias de entalladuras fluviales, las condiciones climáticas muy secas y hasta áridas permiten solamente el desarrollo de una cobertura vegetal arbustiva y espinosa adaptada a la zona. En el margen superior de las cuencas bajas se cultiva maíz en asociación con pastos porque las condiciones climáticas son menos drásticas. Sin embargo, la actividad agrícola de las zonas irrigadas como las del valle del río Catamayo, alrededor de Vilcabamba, Malacatos y Catamayo, es significativa, con producción intensa de caña de azúcar, banano, cítricos, café, yuca y maíz. En el valle de Catamayo se ubica, sobre tierras planas del relleno aluvial reciente, el ingenio azucarero de La Toma irrigado con las aguas de los ríos Guayabal y Catamayo (Winckell, *et al.*, 1997b; IGM, 2019b).

El régimen climático muy seco y la erosión de la zona han promovido la presencia de amplias áreas con Entisoles caracterizados por el afloramiento de formaciones arenosas, pedregosas y rocosas. Estos son paisajes minerales estériles, como los de la cuenca del río Playas o aguas arriba en el valle del río Catamayo, donde se observan zonas de aspecto desolado, debido, principalmente a las características climáticas de áreas muy secas a áridas y a la existencia de formaciones sedimentarias con dominancia detrítica que va de areno-pedregosa a conglomerática, lo que genera suelos poco espesos, livianos y sin coherencia (Winckell, *et al.*, 1997b). En cambio, la cuenca de Loja, que goza de un clima más húmedo, tiene suelos arcillosos, clasificados como Vertisoles (Soil Survey Staff, 2006). Un ejemplo de este tipo de suelos es el clasificado como Leptic Hapluderts que se presenta en la **Figura 3.43** y en el **Cuadro 3.30** (MIDENA, *et al.*, 2013f).



Figura 3.43. Perfil del suelo clasificado como Leptic Hapluderts (izquierda) ubicado en el sitio Tenería, Loja, sobre el cual se cultivan pastos (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013k).

Cuadro 3.30. Características del perfil de suelo clasificado como Leptic Hapluderts (MIDENA, *et al.*, 2013k).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
A _{pss}	0-20	Color: gris muy oscuro (2.5Y 3/1) en húmedo, con moteado pardo fuerte (7.5YR 5/8); textura: franco arcillo arenosa; estructura: masiva, firme; pH: 5.7; materia orgánica: 3.5 %; CIC: 14 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 47 %.
A _{Css}	20-50	Color principal: gris muy oscuro (2.5Y 3/1), con moteado pardo fuerte (7.5YR 4/6); color secundario: pardo grisáceo oscuro (2.5Y 4/2); textura: franco arcillosa; estructura: masiva, firme, con fragmentos tipo piedra; pH: 5.8; materia orgánica: 1.6 %; CIC: 13 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 61 %.
C _{ss}	50-70	Color: gris muy oscuro (2.5Y 3/1) en húmedo, con moteado pardo fuerte (7.5YR 5/8); textura arcillosa; estructura: masiva, porosa, firme, con fragmentos tipo piedra; pH: 5.5; materia orgánica: 1.3 %; CIC: 20 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 54 %.
Cr	70-80+	Color: gris muy oscuro (2.5Y 3/1) en húmedo; textura: arcillosa; estructura: masiva, muy firme, con fragmentos tipo piedra.

En zonas moderadamente húmedas se pueden observar Inceptisoles con saturación de bases > al 50 %, clasificados como Eutrudepts (**Figura 3.44** y en el **Cuadro 3.31**) (MIDENA, *et al.*, 2013f).



Figura 3.44. Perfil del suelo clasificado como Fluventic Eutrudepts (izquierda) ubicado en el sitio Tumianuma, Vilcabamba, Loja, sobre una terraza media en el cual se cultiva caña de azúcar (derecha) (MIDENA, *et al.*, 2013t).

Cuadro 3.31. Características del perfil de suelo clasificado como Fluventic Eutrudepts (MIDENA, *et al.*, 2013t).

Horizontes	Profundidad (cm)	Descripción
Ap	0-20	Color principal: gris muy oscuro (2.5Y 3/1) en húmedo; color secundario: pardo grisáceo muy oscuro (2.5Y 3/2) en húmedo; textura: arcillo limosa; estructura: bloques subangulares a masiva, firme; pH: 6.4; materia orgánica: 3.7 %; CIC: 25 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 86 %.
Bw	20-50	Color primario: oliva (5Y 5/3) en húmedo; color secundario: pardo oliva claro (2.5Y 5/4) en húmedo; textura: franca; estructura: bloques subangulares a masiva, friable; pH: 6.4; materia orgánica: 0.7 %; CIC: 16 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 77 %.
C	50-70	Color: pardo oliva (2.5Y 4/3) en húmedo; textura: franco arenosa; estructura: masiva, porosa, suelta; pH: 6.4; materia orgánica: 0.4 %; CIC: 12 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 77 %.
2Ab	70-90	Color: oliva (5Y 5/3) en húmedo, con moteados pardo fuerte (7.5YR 4/6); textura: franco arenosa; estructura: masiva, friable, con fragmentos de grava gruesa; pH: 6.4; materia orgánica: 0.4 %; CIC: 12 cmol kg ⁻¹ ; saturación de bases: 75 %.
2C	90-100	Color principal: pardo oliva (2.5Y 4/4) en húmedo; color secundario: pardo oliva oscuro (2.5Y 3/3) en húmedo; textura: arenosa; estructura: masiva, grano simple, suelto, con fragmentos de tipo piedra.

3.5. Referencias bibliográficas

- Beltrán, K., S. Salgado, F. Cuesta., S. León-Yáñez, K. Romoleroux, E. Ortiz, *et al.* 2009. Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los Páramos en el Ecuador. Quito. EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. Quito, Ecuador.
- Cañadas, L. 1983. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Editores Asociados. Quito, Ecuador.
- Creutzberg, D., J. Kauffman, E. Bridges y G. del Posso. 1990. Micromorphology of “Cangahua”: a cemented subsurface horizon in soils from Ecuador. *Developments in Soils Science* 19: 367-372. [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70349-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70349-0)
- Custode, E., G. Trujillo, C. Valarezo y A. Voope. 1999. La degradación del suelo y los cambios históricos. Consorcio CAMAREN. Quito, Ecuador.
- De Bievre, B., V. Iñiguez y W. Buytaert. 2011. Hidrología del páramo: Inportancia , propiedades y vulnerabilidad En: P. Mena, A. Castillo, S. Flores, R. Hofstede, C. Josse, S. Lasso, G. Medina, N. Ochoa y D. Ortiz (eds). Páramo. Abya Yala. Quito, Ecuador.
- Derruau, M. y J. de Noni. 1982. La geomorfología de los piroclastos en los Andes del Ecuador. CEG - IPGH - CEIG - ORSTOM. Quito, Ecuador.
- Holdridge, L. 1969. Life zone ecology. Tropical Science Center. San José, Costa Rica.
- Huttel, C., C. Zebronski, P. Gondard y J. Bourliaud. 1999. Paisajes agrarios de Ecuador. IFEA-IGM-IPGH-IRD-PUCE. Quito, Ecuador. <https://bit.ly/2kozCEL>
- IGM. 2013. Atlas geográfico de la República del Ecuador. IGM-SENPLADES. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2W9Wnug>
- IGM. 2019a. Geovisualizador Instituto Geográfico Militar. Mosaico de Geopedología 1:25.000. Disponible en <https://bit.ly/2ITzM6Z>

- IGM. 2019b. Geovisualizador Instituto Geográfico Militar. Mosaico de Uso de la Tierra 1:25.000. Disponible en <https://bit.ly/2ITzM6Z>
- INEC. 2018. Estadísticas Agropecuarias. Disponible en <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- IRD, IGM y EPN. 2012. Volcanes cuaternarios del Ecuador continental. IGM. Quito, Ecuador.
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2015. Perfil CSp-ÑV_E4-83-0061. Memoria técnica del cantón Gualaceo. Geopedología y temáticas derivadas. Anexo 5. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 2. MAGAP. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2Cotrp2>
- MAGAP-SIGTIERRAS y Consorcio TRACASA/NIPSA. 2016. Anexo 5: Perfil CSp-NV_F4-90-0016. Memoria técnica del cantón Cuenca. Geopedología y temáticas derivadas. Proyecto: Levantamiento de cartografía temática escala 1: 25 000, lote 2. MAGAP. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/36OAHIK>
- Mejía, L. 1997. Suelos del Ecuador: Reconocimiento general en base a su capacidad-fertilidad y mapa general de clasificación por Capacidad-Fertilidad de los suelos del Ecuador: Una interpretación básica sobre las características de los suelos del Ecuador. FFJMD-INPOFOS-IGM-IPGH-SECS. Quito, Ecuador.
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2012a. Perfil PM3-P038. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2WpJJHw>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2012b. Perfil PM4-P041: Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2BIsSWI>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013a. Memoria técnica de clima e hidrología del cantón Espíndola. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2NZ4XYL>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013b. Memoria técnica de clima e hidrología del cantón Loja. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2Nw0BrQ>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013c. Memoria técnica de clima e hidrología del cantón Olmedo. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2K7bFuJ>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013d. Memoria técnica de clima e hidrología del cantón Paltas. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2K7FZW9>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013e. Memoria técnica de geopedología del cantón Espíndola. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador.
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013f. Memoria técnica de geopedología del cantón Loja. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/333HlIT>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013g. Memoria técnica de geopedología del cantón Olmedo. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/33z0TVZ>

- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013h. Memoria técnica de geopedología del cantón Paltas. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2X0A6zk>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013i. Memoria técnica de geopedología del cantón SigSig. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2PXZtAc>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013j. Memoria técnica geopedológica del cantón Colta. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013k. Perfil PM2-P158. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2Q4PB7X>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013l. Perfil PM2-P180. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/34632rX>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013m. Perfil PM4-P178. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2KayHkx>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013n. Perfil PN1-P094: Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2pRwdjE>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013o. Perfil PN2-P086. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2BM5kjP>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013p. Perfil PN4-P108. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2CF65Mh>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013q. Perfil PN5-P167. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2O1KF12>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013r. Perfil PN5-P169. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2X3Rymn>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013s. Perfil PN5-P177. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2NCJ1nn>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013t. Perfil PN6-P147. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/32BhiaY>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013u. Perfil PN9-P093. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/33x6lZx>

- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013v. Perfil PN9-P099. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2JWwVmL>.
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2013w. Perfil PN9-P110. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2Npxl7q>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2014a. Perfil PM1-P204. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/36dknku>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2014b. Perfil PM2-P190. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2p6F2pZ>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2014c. Perfil PM5-P060. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2Wsum0V>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2014d. Perfil PN1-P204. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2BY5QLO>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2014e. Perfil PN1-P224: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. <http://bit.ly/2qJYb1l>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2014f. Perfil PN8-P211. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2BX9Mwj>
- MIDENA, IEE, SENPLADES y MAGAP. 2015a. Memoria técnica de geopedología del cantón Ibarra. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador.
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013x. Memoria técnica de geopedología del cantón San Miguel de los Bancos. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador.
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013y. Memoria técnica geopedológica del cantón Cayambe. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/366ug3p>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013z. Perfil PM3-P144. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/344DLOV>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013aa. Perfil PM5-P028. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2MOrdFD>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013ab. Perfil PM5-P039. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/343dPDm>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013ac. Perfil PN1-124: Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/31GdvIZ>

- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013ad. Perfil PN1-P133. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/369ikxR>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013ae. Perfil PN1-P154. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2MNsmx2>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013af. Perfil PN2-P115. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2NnA5B1>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013ag. Perfil PN2-P138. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2pQsa7e>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y GAD de Pichincha. 2013ah. Perfil PN4-P122. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. MIDENA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2PE0M7x>
- MIDENA, SENPLADES, IEE y MAGAP. 2012c. Memoria técnica geopedológica del cantón Chambo. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador.
- MIDENA, SENPLADES, IEE y MAGAP. 2015b. Memoria técnica de geopedología del cantón Tulcán. Proyecto: Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1: 25 000. IEE. Quito, Ecuador.
- Pacheco, R. 2009. El Ecuador: Recursos naturales agrícolas y del medio ambiente. Imprenta Colón. Quito, Ecuador.
- Poulenard, J., P. Podwojewski and A.J. Herbillon. 2003. Characteristics of non-allophanic Andisols with hydric properties from the Ecuadorian páramos. *Geoderma* 117(3): 267-281. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00128-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00128-9).
- PROECUADOR. 2019. Evolución de las exportaciones flores y plantas. Disponible en <https://www.proecuador.gob.ec/monitoreo-de-exportaciones/>
- PRONAREG-ORSTOM. 1982. Inventario cartográfico de la Sierra ecuatoriana: mapas de aptitudes agrícolas, escala 1: 200 000, Quito, Ecuador. Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG), Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer (ORSTOM). Quito, Ecuador.
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to soil taxonomy. 10th ed. USDA - NRCS. Washington DC, USA. <http://bit.ly/2kEtubf>
- Sollins, P. 1991. Effects of soil microstructure on phosphorus sorption in soils of the humid tropics. In: D. Tielsen, D. Hernandez and L. Salcedo (eds). Phosphorus cycles in terrestrial and aquatic ecosystems. Saskatchewan Institute of Pedology. Saskatoon, Canada.
- Steinmann, M., D. Hungerbühler, D. Seward and W. Winkler. 1999. Neogene tectonic evolution and exhumation of the southern Ecuadorian Andes: a combined stratigraphy and fission-track approach. *Tectonophysics* 307(3): 255-279. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00100-6](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00100-6).
- Vallejo, C. 2007. Evolution of the western cordillera in the Andes of Ecuador (late Cretaceous-Paleogene). Swiss Federal Institute of Technology. Doctor of Natural Sciences. Zürich, Switzerland.p
- Wada, K. and Y. Kakuto. 1985. Embryonic halloysites in Ecuadorian soils derived from volcanic ash. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49(5): 1309-1318. <https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900050047x>

- Winckell, A., R. Marocco, T. Winter, C. Huttel, P. Pourrut, C. Zebrowski, *et al.* (ed). 1997a. Los paisajes naturales del Ecuador. Volumen 1: Las condiciones generales del medio natural. CEDIG-IPGH-ORSTOM-IGM. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/39KCznr>
- Winckell, A., C. Zebrowski y M. Sourdat. 1997b. Los paisajes naturales del Ecuador. Volumen 2: Las regiones y paisajes del Ecuador. CEDIG-IPGH-IRD-IGM. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2moNqiM>
- Zebrowski, C., P. Quantin y G. Trujillo (ed). 1997. Suelos volcánicos endurecidos. III Simposio Internacional UE-ORSTOM-PUCE-UCE. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/34aWOqZ>
- Zebrowski, C. y M. Sourdat. 1997. Los factores de la pedogénesis y los suelos en Ecuador. En: A. Winckell, R. Marocco, T. Winter, C. Huttel, P. Pourrut, C. Zebrowski y M. Sourdat (eds). Los paisajes naturales del Ecuador. Volumen 1: Las condiciones generales del medio natural. CEDIG-IPGH-ORSTOM-IGM. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2kory6p>
- Zehetner, F., W. Miller and L. West. 2003. Pedogenesis of volcanic ash soils in Andean Ecuador. *Soil Sci. Soc. Am. J* 67(1): 1797-1809. <https://doi.org/10.2136/sssaj2003.1797>.

SUELOS DEL ECUADOR CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO



Síguenos en:



CONTACTOS:

- Dirección: (593-2) 3 975 100 est. 2102
- Subdirección: (593-2) 3 975 100 est. 2109
- Geoinformación: (593-2) 3 975 100 est. 4448
- Mercadotecnia: (593-2) 3 975 100 est. 2509/2517
- Comunicación Social: (593-2) 3 975 100 est. 2505/2506
- Pbx: (593-2) 3 975 100

Quito: Av. Seniergues E4-676 Y Gral. T. Paz y Miño - El Dorado

Instituto Geográfico Militar

www.geograficomilitar.gob.ec / www.geoportal.gob.ec

ISBN: 978-9942-22-557-3

