



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.geoportaligm.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.

— VISIÓN GENERAL — DE LOS SUELOS DEL ECUADOR

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

Gustavo Bernal, Consultor: gusrbg@yahoo.com

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

RESUMEN

La Cordillera de Los Andes divide al Ecuador continental en tres regiones diferentes: Costa, Sierra y Amazonía, y cada una ellas constituye un complejo y variado sistema de climas, suelos, biodiversidad y paisajes, producto de la conjunción del carácter ecuatorial de la zona y la altitud. Estas condiciones hacen que la insolación no sea uniforme en todo el territorio y que se provoquen vientos anárquicos y regímenes pluviales distintos que controlaron el desarrollo de los suelos. La región Insular está formada por islas que emergen del Océano Pacífico por las erupciones sucesivas de los volcanes submarinos y son las que formaron paisajes que desarrollan condiciones también influenciadas por la altitud. La Costa es una región potencialmente muy rica debido a la existencia de una llanura de suelos fértiles, aun cuando las fuertes pendientes de la cordillera costera limitan la actividad agrícola y la zona muy húmeda del norte tiene suelos ferralíticos de baja fertilidad. La Sierra es la zona demarcada por las cordilleras que va desde los 1 300 hasta 3 800 m s. n. m., siendo las pendientes el principal factor limitante para la agricultura en esta región. La parte norte de la Sierra es más rica debido a los aportes de cenizas volcánicas. El centro y sur de la sierra no tuvieron aportes volcánicos recientes, pero debido al efecto del clima y del material parental tienen una variedad de suelos, pero en muchos sectores se observa la presencia de suelos pobres con propiedades ferralíticas. En la Amazonía, los suelos aluviales y aquellos derivados de cenizas volcánicas cercanos a la cordillera son los únicos con limitantes poco importantes para la actividad agrícola; los demás son suelos aluviales con problemas de hidromorfía o ferralíticos que forman una región particularmente frágil, con serias limitaciones serias para la agricultura, en la que se debe solamente conservar el bosque y todos sus servicios ambientales. En las islas Galápagos, debido a la aridez del clima, los suelos son esencialmente minerales, excepto en los flancos húmedos de los volcanes donde las proyecciones volcánicas han podido alterarse dando lugar a Andisoles, mientras que las lavas han dado lugar a suelos ferralíticos poco evolucionados.

ABSTRACT

The Andes divides Ecuador in three natural regions: Coastal Plane, Highlands, and Amazonia, each one a complex and varied system of climate, landscapes, soils, and biodiversity product of the equatorial conditions of the country and the altitude. For these reasons, sunshine is not uniform in all areas of the country promoting the presence of anarchic winds and distinct pluvial regimes that controlled soil development. The Galapagos Islands are also included in the national territory. These islands emerged from the Pacific Ocean due to the eruption of submarine volcanos developing landscapes, also influenced by climate and altitude. The Coastal Plane has an extended plain of high fertility soils but step slopes around the central coastal cordillera limit agricultural production and the humid section of the north have poor ferralitic soils. The highlands, demarcated by the two cordilleras, comprise a zone from 1 300 to 3 800 m a.s.l. This region has the steep slopes as the main limiting factor for agriculture. The northern section of the Highlands has richer soils due to volcanic ash contribution. The center and southern sections of the Highlands do not have volcanic ash cover from volcano activity, but climate and parental materials have promoted the development of a variety of soils, but there are many areas dominated by poor fersalitic soils. In the Amazonia region, the areas close to the cordillera have alluvial or volcanic ash-derived soils which can be used for agriculture if slope is not limiting. The rest of the Amazonia has alluvial hydromorphic or poor ferralitic soils forming a particularly fragile area with severe limitations for agriculture. Forest and all environmental services of this zone must be conserved. The Galapagos Islands has mineral soils due to the arid climate, except for the humid volcano flanks where the alteration of pyroclastic materials has developed Andisols, while the lava accumulation has given place to fersalitic poorly evolved soils. Only a small section of the Galapagos Islands is used for agricultural activities due to restriction to protect the national park.

1.1. Historia de los Levantamientos de Suelos en el Ecuador

Los primeros estudios de los suelos de Ecuador fueron las descripciones de la Costa y de la Sierra realizadas por Hugh H. Bennett en 1922. Estos estudios no publicados llegaron a las manos de Misael Acosta Solís quien los amplió para publicar el primer mapa de suelos de la Costa y Sierra del país (Acosta Solís, 1965; Pacheco, 2009).

Misael Acosta Solís, entre los años de 1940 y 1952, realizó estudios orientados a la geobotánica en varias provincias, es decir, estudios de las tierras en relación con la vegetación nativa para definir un grupo de plantas indicadoras de cada grupo edáfico, pero no todos estos estudios se publicaron. Acompañó, además, varias excursiones realizadas por científicos norteamericanos por las tres regiones naturales del Ecuador. De estos estudios, los de mayor relevancia fueron los trabajos realizados por Robert L. Pendleton y Charles S. Simmons, los mismos que fueron complementados por Miller y que sirvieron para clasificar la mayor parte de los suelos ecuatorianos dentro de los grandes grupos internacionalmente reconocidos y para crear nuevos nombres, especialmente para aquellos de los páramos. La compilación de todos estos estudios se evidenció en la publicación de Miller en 1945 a través de un mapa de los principales grupos zonales de suelos de Ecuador (Acosta Solís, 1965; Pacheco, 2009; Ortiz, *et al.*, 2010), material que luego lo publicó en 1959 en la revista *Geographical Review* (Miller, 1959) en un artículo titulado *Agricultural Ecuador* y cuyos mapas de materiales parentales y clasificación de suelos se presentan en la **Figura 1.1**.

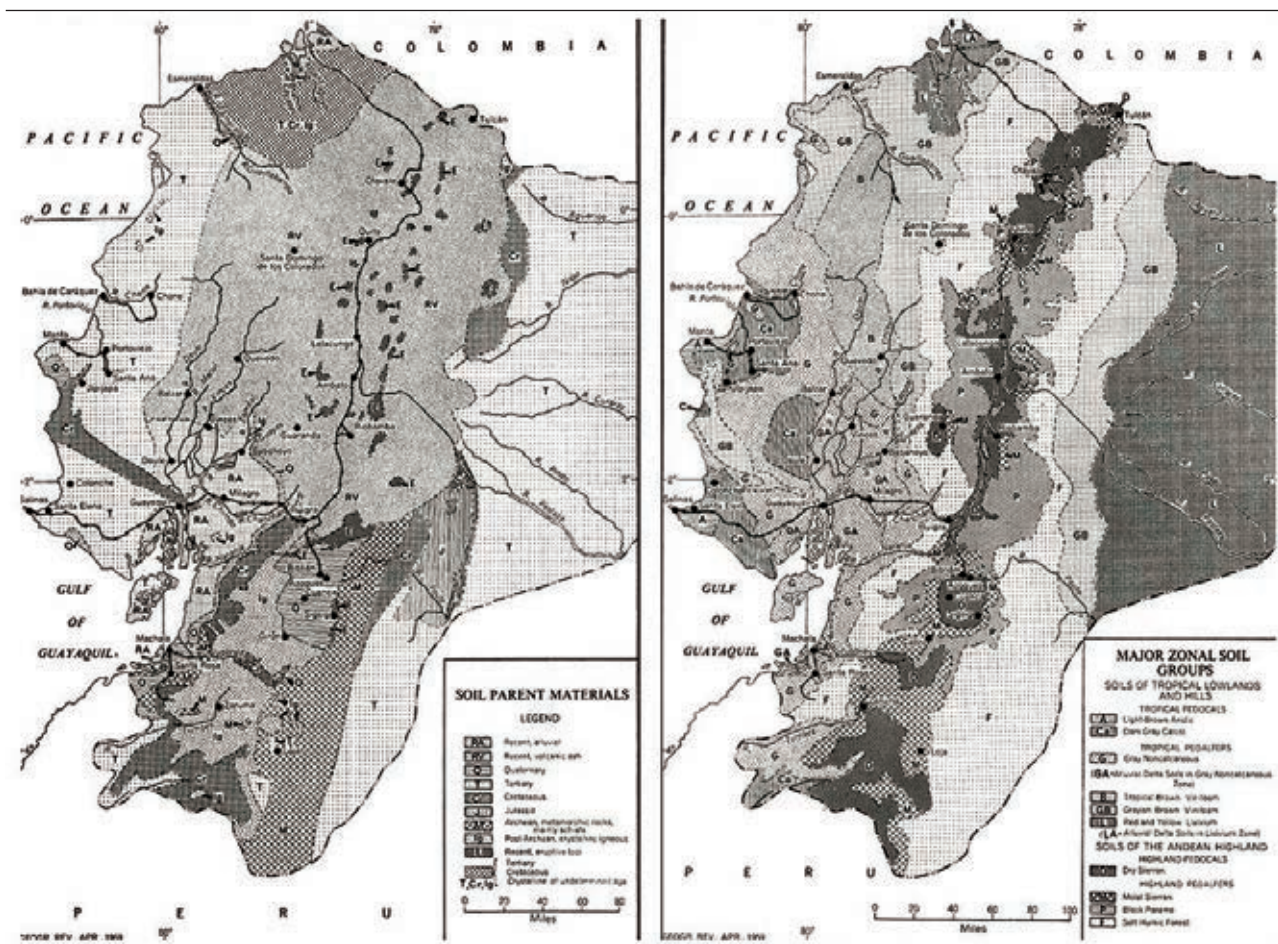


Figura 1.1. Mapas de material parental y clasificación de suelos de Ecuador publicado por Miller en 1959 en la revista *Geographical Review* (Miller, 1959).

En el año 1955 se firmó un acuerdo de asistencia técnica entre la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el gobierno del Ecuador para iniciar los estudios de levantamiento

y clasificación de suelos del país. Con el apoyo de Erwin Frei, consultor de la FAO, quien trabajó en el país durante los años 1955 y 1956, se realizaron estudios a nivel exploratorio en casi todo el territorio nacional para elaborar el primer inventario y determinar la distribución geográfica de los suelos. Estos estudios permitieron ubicar la existencia de 18 distintas grandes asociaciones de suelos en Ecuador que se plasmaron en el mapa emitido por la FAO y que Frei lo publicó en la revista *Plant and Soil* en 1958 (**Figura 1.2**). Frei fue remplazado por Alfredo Küpper, quien continuó con el plan nacional de estudio y clasificación de los suelos ecuatorianos (Acosta Solís, 1965). La información recopilada se cartografió en el mapa de suelos del Ecuador, a escala 1: 1 000 000, único documento disponible hasta aquella fecha y que luego sirvió como base para realizar el bosquejo general edafológico del país reducido a escala 1: 2 000 000 (CLIRSEN, 1979).

En la década de 1960 se realizaron estudios de suelos muy puntuales. Uno de ellos es el Estudio Preliminar sobre Ecología, Suelos y Posibilidades Agropecuarias de la Región Oriental del Ecuador realizado por Rafael Pacheco, quien presenta un mapa a escala 1: 500 000 con seis grandes asociaciones de suelos con los nombres, ubicación y demarcación de cada una de ellas. Otro estudio de suelos fue realizado para el Centro de Reconversión del Azuay, Cañar y Morona Santiago (CREA) por Alfredo Küpper, Rafael Pacheco y Víctor Andrade: el informe y el mapa a escala 1: 500 000 presentados reconocen la presencia de 6 grandes grupos de suelos, dos asociaciones y una transición en el territorio de esas provincias (Acosta Solís, 1965).

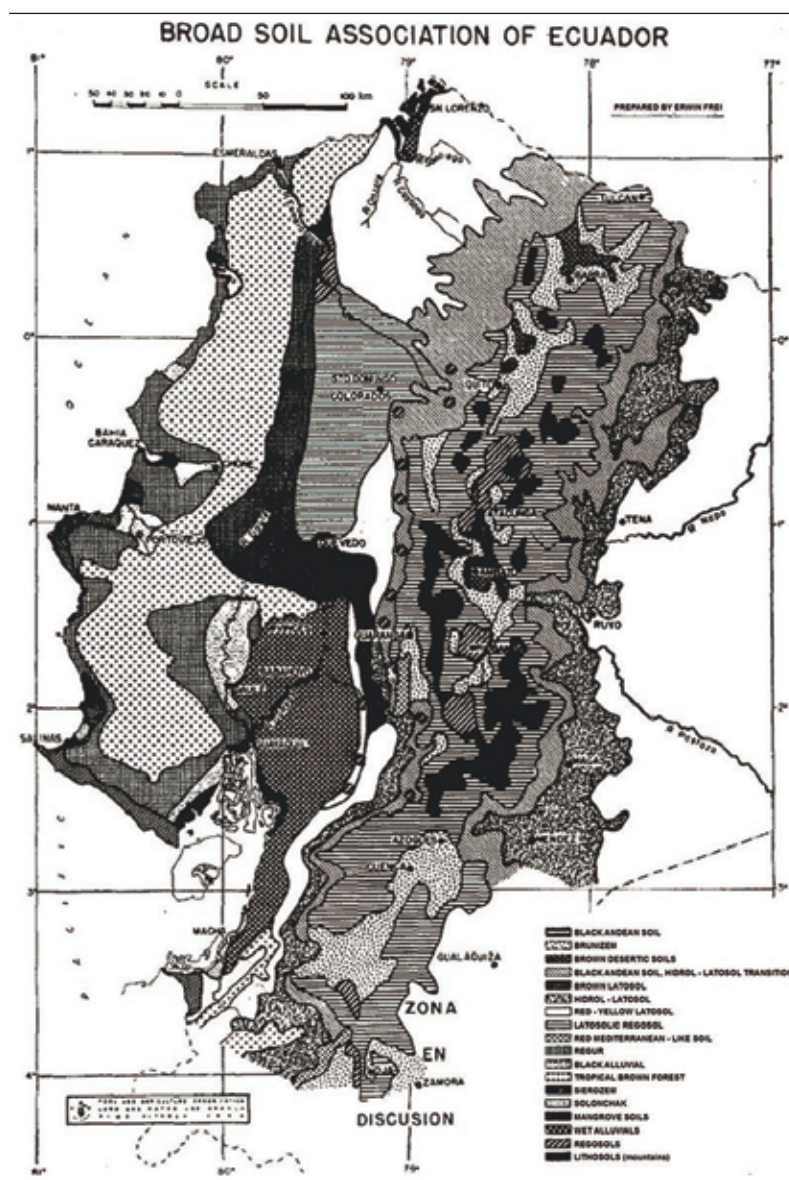


Figura 1.2. Primer mapa de suelos detallando las grandes asociaciones de suelos de Ecuador (Frei, 1958).

El Ecuador, en la década de los 70's, sufrió un cambio radical con el descubrimiento y explotación de petróleo en vastos territorios de la Amazonía u Oriente, como se conoce a esta región del país. Esta situación generó una ingente cantidad de recursos monetarios que, en buena forma, y bajo el slogan de “sembrar el petróleo”, le permitió al gobierno nacional dar un gran impulso a las actividades económicas del país, especialmente al sector agropecuario. De esta forma, y con gran visión, se apoyó la ejecución del Mapa Agrícola Nacional. La implementación de los estudios y la elaboración del mapa estuvieron a cargo del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG).

EL MAG, con la finalidad de dar la suficiente consistencia técnica a la planificación agrícola ecuatoriana, implementó el Programa Nacional de Regionalización Agraria (PRONAREG), el mismo que sería el encargado del estudio y evaluación de los recursos renovables y de las investigaciones agro-socioeconómicas del país. Estructuralmente, el PRONAREG contó con profesionales del MAG y, mediante Acuerdo Ministerial, convocó a profesionales ingenieros agrónomos especialistas en suelos, clima y geología de varias instituciones públicas, entre las cuales se pueden citar al Instituto de Recursos Hidráulicos (INERHI), Instituto Ecuatoriano de Reforma Agraria y Colonización (IERAC), Centro de Rehabilitación de Manabí (CRM), Comisión de Estudios para la Cuenca del Río Guayas (CEDEGE), Proyecto de Desarrollo del Sur (PREDESUR), entidades que de manera individual venían realizando estudios de suelos específicos y puntuales, principalmente con fines de riego.

La primera iniciativa de PRONAREG fue la organización y realización del primer curso nacional de normas, metodologías y procedimientos como herramienta básica para efectuar levantamientos edafológicos a nivel nacional (González, *et al.*, 1986). Formaron parte de este grupo pionero de edafólogos el Dr. Fausto Maldonado y los ingenieros Jacinto Yépez, Néstor Espinosa, Gustavo Peña, Carlos Luzuriaga, Héctor Loor, Patricio Toledo, Augusto González y Richard Guillen.

Asimismo, PRONAREG suscribió un convenio de asesoramiento y cooperación técnica con la *Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer* (ORSTOM) de Francia. Este convenio fue suscrito en 1974, pero los primeros estudios se iniciaron en febrero de 1975, debido a que la ORSTOM necesitó primero coleccionar datos básicos que permitiesen el análisis completo del medio rural ecuatoriano (Portais, 1997). En los inicios de la actividad de la ORSTOM en Ecuador se puede mencionar la contribución, entre los más destacados, de los siguientes investigadores franceses: Francoise Colmet Daage, Michael Portais, Pierre Pourrut, Alain Winckel, Claude Zebrowski, George De Noni, Michael Sourdat (González, 2015).

El convenio PRONAREG-ORSTOM, durante el periodo comprendido entre 1976 y 1986, llevó a cabo 16 proyectos de levantamiento de suelos en Ecuador, generando mapas morfopedológicos de la región Amazónica (escala 1: 500 000), región Costa (escala 1: 200 000) e islas Galápagos (escala 1: 50 000), así como mapas de suelos de la región Sierra a escala 1: 50 000 y 1: 200 000 (IRD, 2019). A pesar de que los trabajos básicos se hicieron a varias escalas, éstos finalmente se presentaron en las escalas indicadas anteriormente (Portais, 1997). La clasificación taxonómica se generalizó a nivel de Gran Grupo y en algunos casos de Subgrupo, utilizando el sistema norteamericano de clasificación prevalente en esa época (Soil Survey Staff, 1975). Como herramienta complementaria para la descripción de perfiles se usó la Guía de Descripción de Perfiles de Suelos de la FAO (Mejía, 1997; Ortiz, *et al.*, 2010). Estos estudios edafológicos no solo se basaron en los levantamientos de suelos, sino también en estudios de geomorfología apoyados en fotointerpretación y en análisis de laboratorio para cuantificar los parámetros físicos, químicos y mineralógicos de los suelos, análisis que se condujeron en laboratorios de Ecuador, las Antillas y Francia (Ortiz, *et al.*, 2010).

Las fichas de descripción de perfiles y reportes de los análisis de laboratorio del convenio PRONAREG-ORSTOM incluyen 19 atributos físico-químicos del suelo, 4 atributos geomorfológicos y 2 atributos climáticos. En estas fichas se incluyó información sobre el lugar (región), altitud, paisaje, pendiente, precipitación, temperatura atmosférica, drenaje externo e interno, profundidad de los

horizontes, color, presencia de moteados, textura, estructura, régimen de humedad del suelo, régimen de temperatura del suelo, macro nutrientes, cationes intercambiables, pH (H_2O y KCl), porcentaje de partículas, reacción al NaF y carbonatos, relación carbono/nitrógeno (C/N), contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, densidad aparente y contenido de agua disponible (Ortiz, *et al.*, 2010).

Durante este periodo también se realizaron otros estudios de suelos a nivel de semidetalle y detalle. Dentro de los primeros se generaron 37 proyectos, en los cuales se incluye la cartografía de suelos y pendientes de la región de la Sierra a escala 1: 50 000, generada por el grupo PRONAREG-ORSTOM. A nivel detallado se levantaron 18 proyectos a cargo de instituciones como el INHERI, CRM, CEDEGE y en menor proporción por el PRONAREG (CLIRSEN, 1979; Mejía, 1997).

En el año 1974 se compilaron estudios de suelos de América del Sur, incluyendo Ecuador. Este trabajo agrupa los suelos en secciones de acuerdo con el manejo y discute los métodos para correlacionar los diferentes sistemas de clasificación para el uso de la tierra, limitaciones de fertilidad, manejo de acidez y fertilidad, así como un mecanismo para desarrollar una red de investigación de suelos tropicales (Bornemiza y Alvarado, 1974).

Varios levantamiento de suelos de carácter regional se realizaron en esa década. Cabe resaltar el estudio de reconocimiento general de los suelos de las provincias de Loja y El Oro, efectuados por el MAG en 1975, cubriendo una superficie de 13 767 km², con publicación a escala 1: 250 000, con unidades de mapeo en consociaciones y asociaciones de suelos. En 1977 PREDESUR condujo un estudio de suelos y su correspondiente interpretación agrológica como base para la implementación del proyecto binacional Puyango-Túmbez. El levantamiento cubrió 69 016 ha en áreas consideradas como prioritarias para Ecuador.

En esta época, instituciones como INERHI, CRM, CEDEGE y MAG condujeron también estudios de suelos a nivel de detalle para planificar el uso agrícola intensivo, desarrollo de proyectos específicos, establecimiento de granjas experimentales, avalúo catastral a nivel de finca, rentabilidad y productividad de la tierra, construcción de canales de distribución y necesidades globales de dotación de agua (González, 2015).

En 1984, Ecuador y Chile fueron sedes del Sexto Taller Internacional de Clasificación de Suelos. En este evento se definieron las propiedades ándicas que caracterizan los suelos derivados de cenizas volcánicas, propiedades que luego fueron documentadas por primera vez por el Comité Internacional para la Clasificación de los Andisoles (ICOMAND, por su siglas en inglés) y que sirvieron de base para que definir el nuevo orden de los Andisoles en las Claves para la Taxonomía de Suelos en 1990 (Soil Survey Staff, 1990; Parfitt and Clayden, 1991; Shoji, *et al.*, 1993; Takahashi and Shoji, 2002; Dahlgren, *et al.*, 2004). Antes de esa fecha, los suelos derivados de cenizas volcánicas estaban incluidos en el orden de los Inceptisoles como el suborden Andepts (Soil Survey Staff, 1975).

En el año de 1986, la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo (SECS) publica, a escala 1: 1 000 000, el Mapa General de Suelos del Ecuador con base a la cartografía edafológica generada previamente por el convenio PRONAREG-ORSTOM: a escala 1: 200 000 para la Sierra y Costa, 1: 500 000 para la región Amazónica y 1: 50 000 para las islas Galápagos. En este mapa se identificaron 36 Grandes Grupos, agrupados en 18 Subórdenes y 8 Órdenes, según el sistema de clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (**Figura 1.3**) (González, *et al.*, 1986).

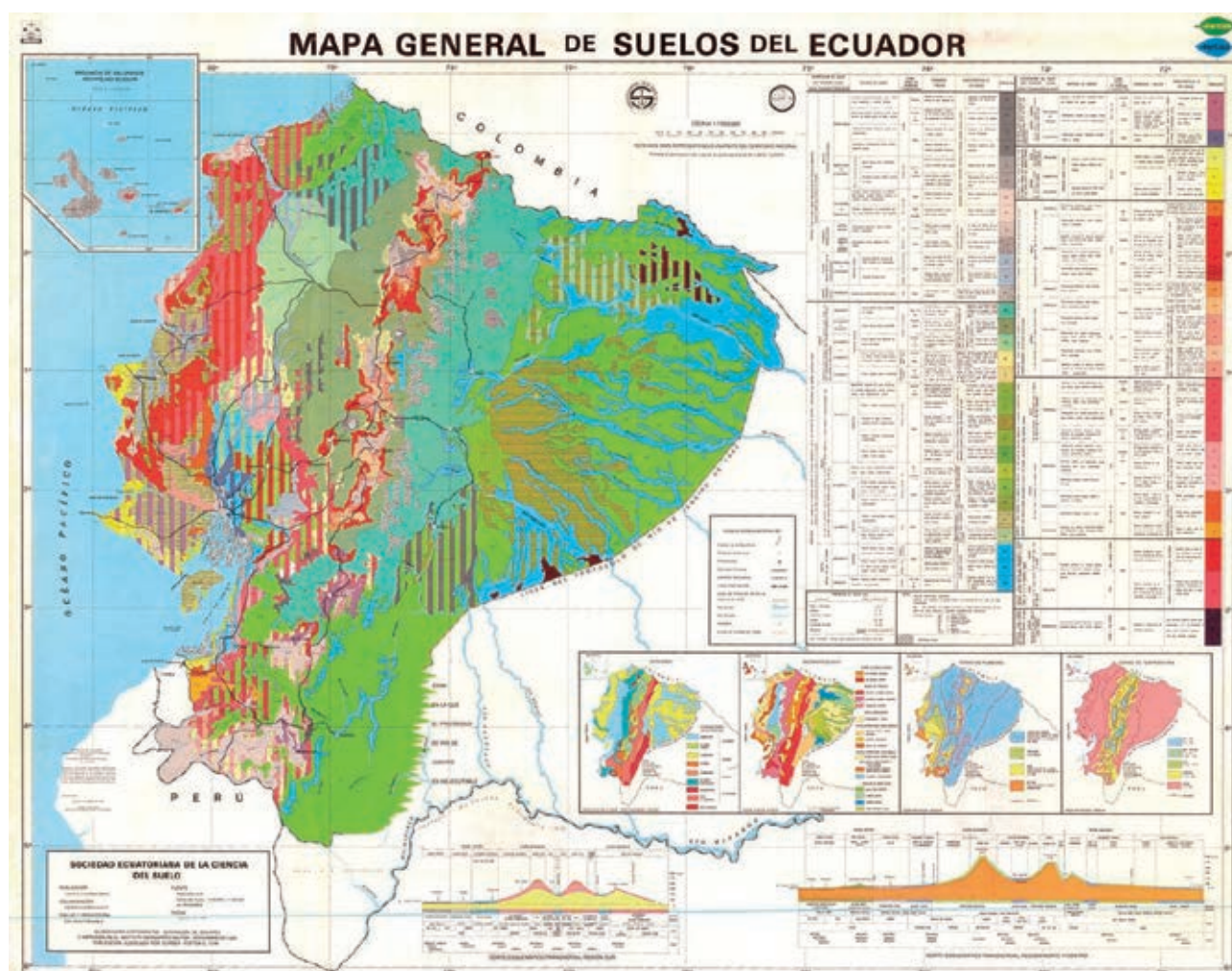


Figura 1.3. Mapa de suelos de Ecuador publicado por la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo basándose en la información generada por el convenio PRONAREG-ORSTOM (González, *et al.*, 1986).

En el año de 1996 se celebró en Quito el III Simposio Internacional sobre “Suelos Volcánicos Endurecidos” que abordó la problemática de las cangahuas del Ecuador y Colombia y de los tepetates en México. Estos suelos están localizados en los piedemontes de los volcanes de regiones muy pobladas y han sido sometidos a constante erosión debido a prácticas de cultivo inapropiadas. Como producto de la severa pérdida de suelos por erosión afloraron capas de material endurecido de muy difícil manejo. El libro de las memorias del evento presenta los resultados de estudios sobre las características de los materiales endurecidos, los factores que condicionan su productividad, la erosión y las prácticas de conservación y las condiciones socioeconómicas de su rehabilitación para uso agrícola y agro-pastoril (Zebrowski, *et al.*, 1997).

En el año 1997 se elabora el Mapa General de Clasificación de Capacidad - Fertilidad de los Suelos del Ecuador (escala 1: 2 000 000), con base en los mismos estudios edafológicos del PRONAREG-ORSTOM y sobre el mapa general de suelos del Ecuador (1: 1 000 000) (Mejía, 1997). Este mapa, presentado en la **Figura 1.4**, permite interpretar las características de los suelos inventariados como orientación para que el especialista o usuario pueda realizar el diagnóstico preliminar de la fertilidad del suelo o zonificación agrícola, pecuaria, forestal y/o aspectos ambientales afines de una determinada localidad en Ecuador.

También en el año de 1997 se escriben dos libros basados en la información de los estudios generados por el convenio PRONAREG-ORSTOM. El primero, titulado “Las Condiciones Generales del Medio Natural”, publicado gracias al esfuerzo conjunto del Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH), el Instituto Geográfico Militar (IGM), el ORSTOM y el Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas (CEDIG) (Winckell, *et al.*, 1997a). Este libro discute los aspectos principales del relieve y de la evolución geodinámica del país, incluyendo la mineralogía y las fuerzas internas que actuaron para su formación, el análisis de los procesos superficiales, las grandes regiones climáticas, las formaciones vegetales naturales, las características hidrográficas e hidrológicas, los factores de pedogénesis y aspectos sobre la erosión de los suelos agrícolas.

El segundo libro, titulado “Las Regiones y Paisajes del Ecuador” (Winckell, *et al.*, 1997b), define al paisaje como el resultado de la combinación modificable de componentes físicos, biológicos y antrópicos que interactúan entre sí, formando un conjunto integral de constante cambio, donde el suelo es parte del paisaje. En este libro, la discusión sobre los paisajes está sustentada en la descripción de las condiciones generales de los componentes naturales más importantes, considerando la geografía del país a nivel de unidades morfo-edafológicas y, en conjunto, como formas de relieve regional.

14

Como parte de este trabajo se realizó la actualización taxonómica del mapa general de suelos del Ecuador a escala 1: 1 000 000 publicado en el año 1986 por la Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, utilizando como sistema de clasificación la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB) (**Figura 1.5**).

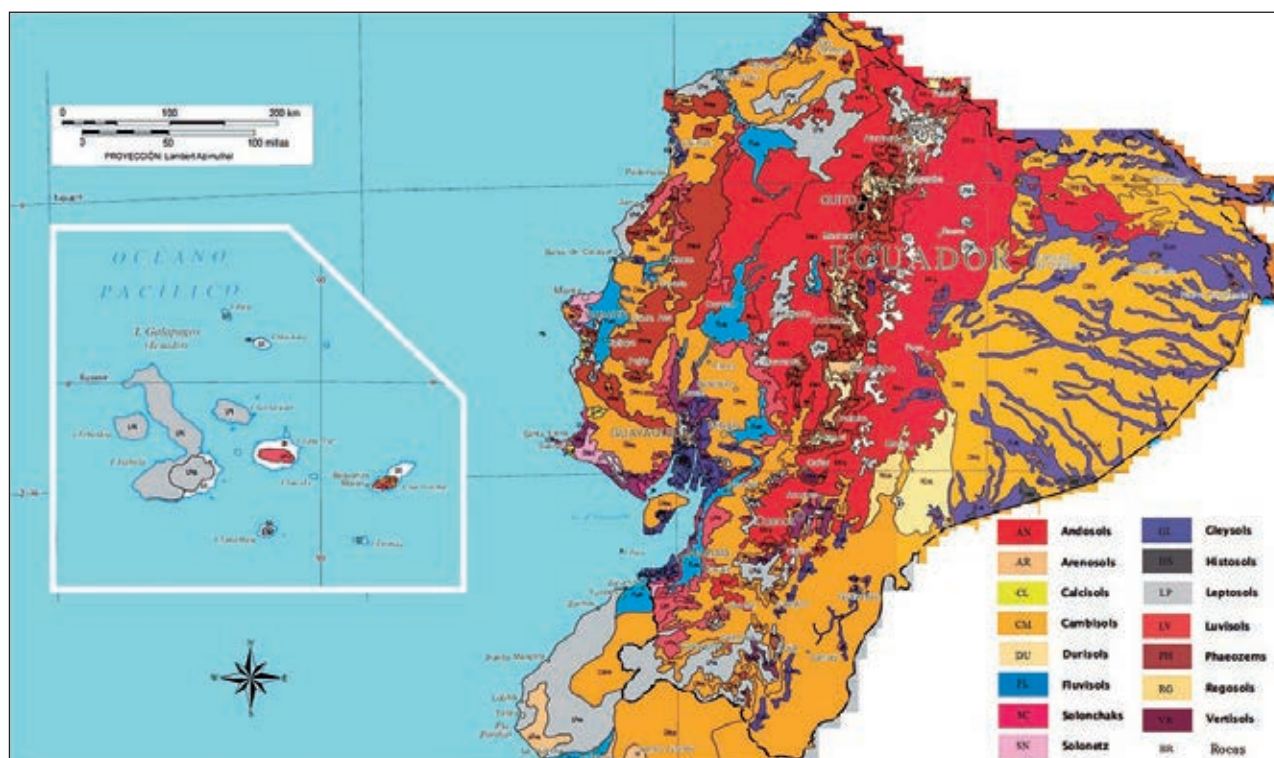


Figura 1.5. Mapa de suelos de Ecuador, publicado a escala 1: 3 000 000, con base al sistema de clasificación de la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (WRB). Adaptado de Gardi, *et al.* (2014).

Desde el año 2009 al 2017 varias instituciones del Estado, como el Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), transformado a Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) desde el año 2012 y absorbido por el Instituto Geográfico Militar (IGM) desde el 2019, conjuntamente con el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), realizaron el levantamiento de, aproximadamente, 14 105 perfiles de suelo dentro de proyectos de inversión (IGM, 2019; MAG, 2019), con el objetivo de generar geoinformación del territorio nacional a escala 1: 25 000 (**Figuras 1.6 y 1.7**), como insumo para la gestión territorial, gestión de riesgo y mejoramiento y sostenibilidad de la producción agrícola; la misma que puede ser descargada a nivel cantonal de los siguientes sitios web:

https://www.geoportaligm.gob.ec/nextcloud/index.php/s/Perfiles_Suelos
<http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/>
<http://metadatos.sigtierras.gob.ec/zip/>
<http://metadatos.sigtierras.gob.ec/jpg/>
<http://geoportal.agricultura.gob.ec/>



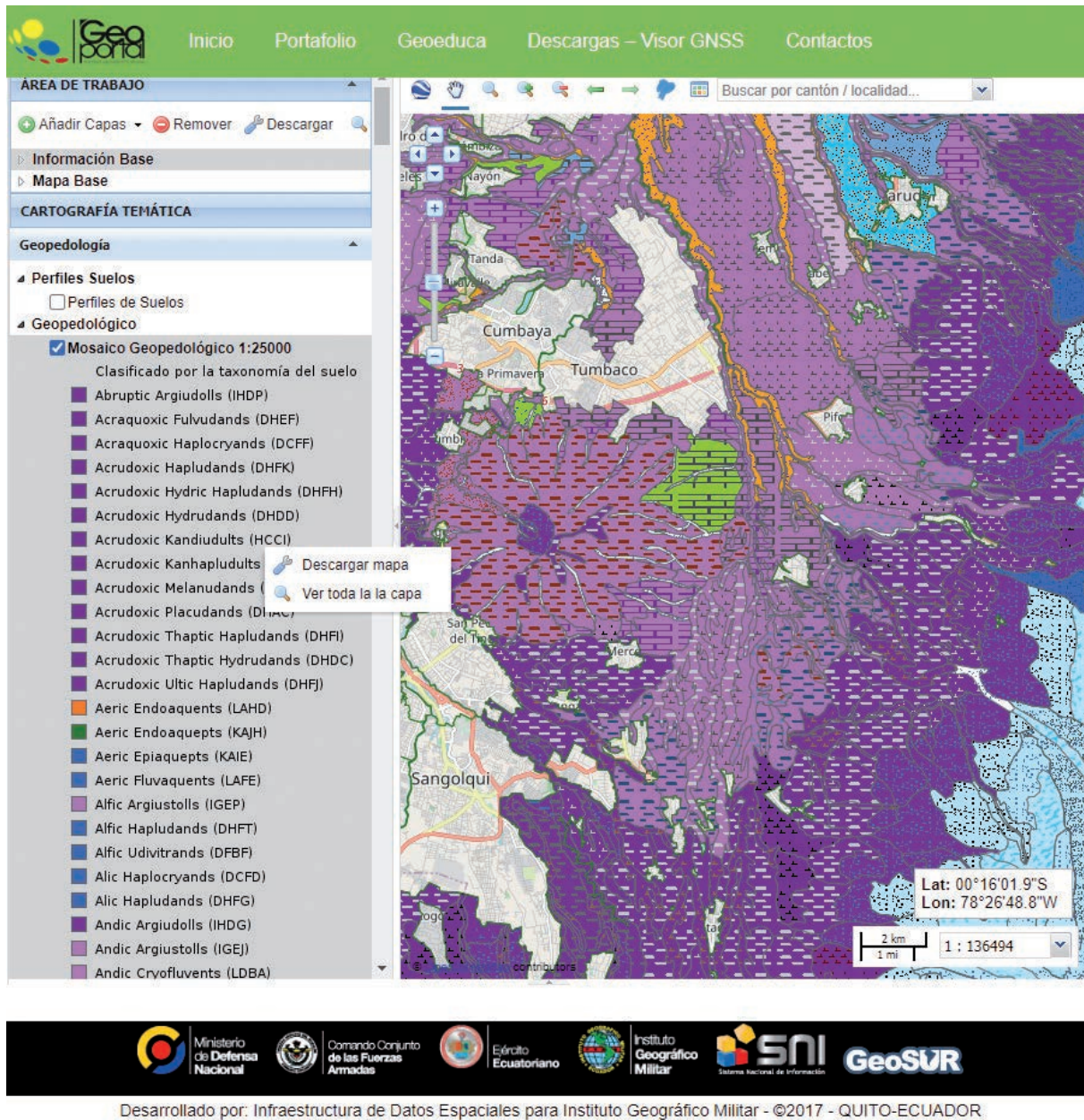


Figura 1.7. Vista del geoportal del IGM, en el visor geoinformación a nivel nacional, donde está publicada la cartografía digital de suelos del Ecuador continental a escala 1: 25 000 –lista para descargarse sin costo - (<https://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/visualizador/>).

1.2. Aspectos Geográficos de la República del Ecuador

La República del Ecuador (continental e insular) se encuentra ubicada en el Hemisferio Occidental, al noroeste de América del Sur (**Figura 1.8**). El territorio continental está localizado entre las latitudes 01° 28' N y 05° 02' S y entre las longitudes 75° 11' O y 81° 04' O. El territorio insular (Archipiélago de Colón o Galápagos) está ubicado al oeste del territorio continental, aproximadamente a 1 000 km de distancia, entre las latitudes 1° 39' N y 1° 26' S y entre las longitudes 89° 15' O y 92° 01' O. Ecuador, con una extensión total de 256 370 km², limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el Océano Pacífico. La Línea Equinoccial, o paralelo 0°, atraviesa el país dividiéndolo en dos partes, territorio continental y territorio insular, pero la mayor parte del territorio se localiza en el Hemisferio Sur (IGM, 2013).

1.3. Regiones y Paisajes Naturales del Ecuador

La cordillera de Los Andes divide al Ecuador continental en tres regiones diferentes: Costa, Sierra y Amazonía, cada una ellas constituye un complejo y variado sistema de climas, suelos, biodiversidad y paisajes, producto de la conjunción del carácter ecuatorial de la zona y la altitud (nivel del mar hasta 6 310 m en la cima del volcán Chimborazo) (**Figura 1.9**).

Estas condiciones hacen que la insolación no sea uniforme en todo el territorio y que se provoquen vientos anárquicos y regímenes pluviales distintos.

La región Insular (Archipiélago de Galápagos) está formada por islas que emergen del Océano Pacífico por las erupciones sucesivas de los volcanes submarinos y son las que formaron paisajes que desarrollan condiciones también influenciadas por la altitud (**Figura 1.10**) (IGM, 2013).

La región Costa se extiende desde la línea costera (nivel del mar) hasta la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes a una altitud de 1 200 m s. n. m. La región Sierra está formada por las cordilleras Occidental y Oriental, dispuestas en dirección meridiana, con vertientes exteriores muy abruptas, que se caracterizan por una declinación general de altitudes y una masividad decreciente de norte a sur (IGM, 2013).

La región Amazónica se localiza a partir del pie de la vertiente oriental de la cordillera de los Andes, pero entre los 500 y 1 500 m s. n. m. se encuentra una faja de 50 km de ancho que se asemeja a una tercera cordillera, luego, por debajo de la cota 300 m s. n. m., se extiende la llanura amazónica que llega hasta el límite con Perú al este. Esta llanura se caracteriza por presentar un paisaje monótono conformado por pequeñas colinas de alrededor de 50 m de altura.

Finalmente, la región Insular está integrada por 14 islas mayores ubicadas a una distancia entre 900 y 1 200 km del continente, constituidas por volcanes que emergen del mar con laderas suaves y cuyas calderas culminan a aproximadamente 1 600 m s. n. m. (IGM, 2013).



Figura 1.8. Ubicación geográfica del Ecuador (IGM, 2013).

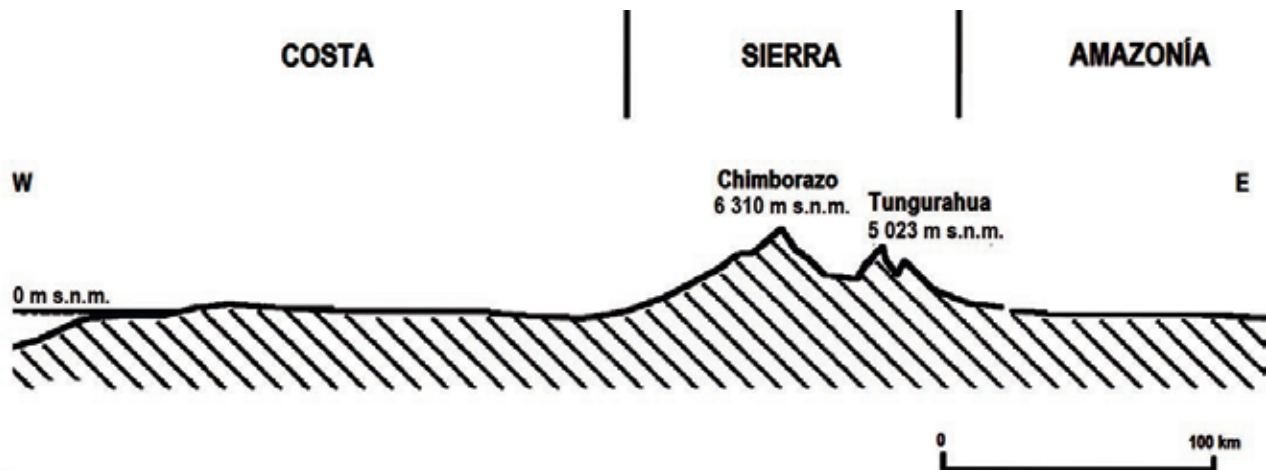


Figura 1.9. Corte esquemático de la topografía del Ecuador continental (Marocco y Winter, 1997).

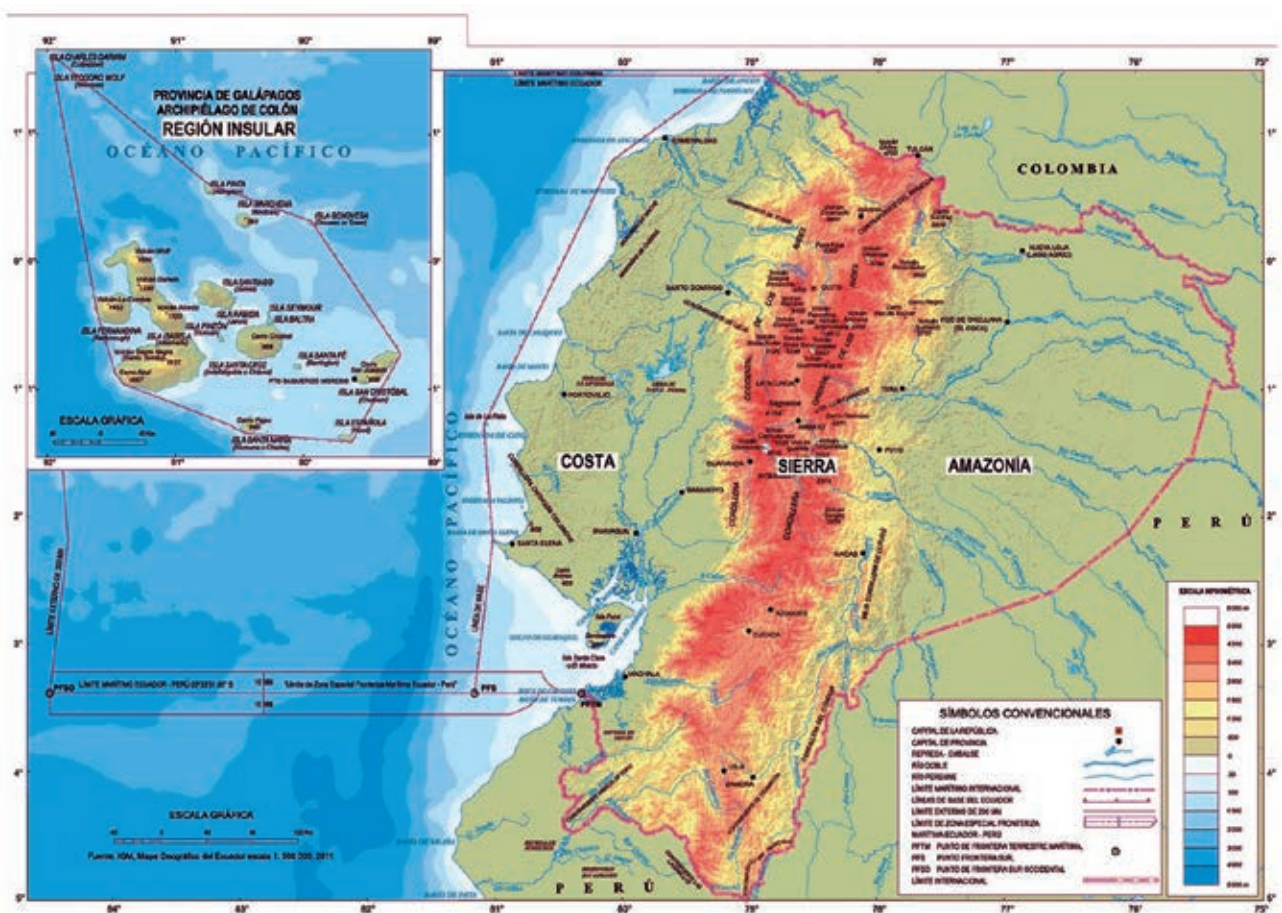


Figura 1.10. Relieve del Ecuador (IGM, 2013).

Dentro de cada una de estas regiones se pueden encontrar diferentes paisajes (Winckell, *et al.*, 1997b). Así, en la Sierra se destacan cuatro (Figura 1.11): a) vertientes y cordilleras andinas, b) cuencas interandinas de la Sierra Norte, con cobertura piroclástica, c) cuencas y valles interandinos de la Sierra Central, sin cobertura piroclástica, y d) relieves de la Sierra Meridional.

En la Costa se observan cuatro paisajes (Figura 1.12): a) regiones costeras noroccidentales, b) regiones costaneras centrales de Manabí, c) península de Salinas y la Isla Puná, y d) llanura central y su piedemonte.

Los paisajes de la Amazonía son dos (Figura 1.13): a) relieves subandinos que corresponden al lado más próximo a los Andes y b) Amazonía Periandina.

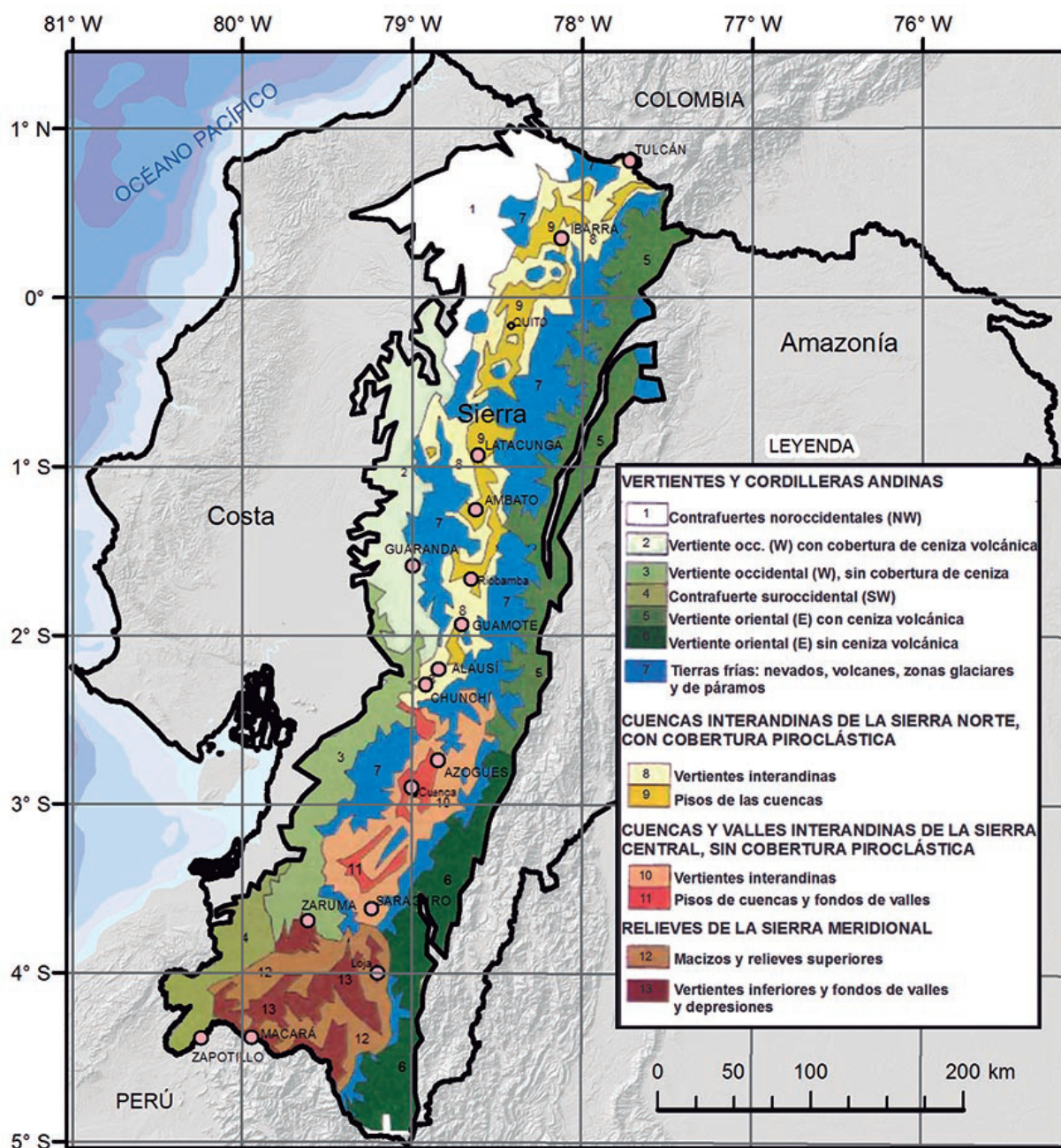


Figura 1.11. Descripción de los paisajes de la Sierra de Ecuador. Adaptado de Winckell, *et al.* (1997b).

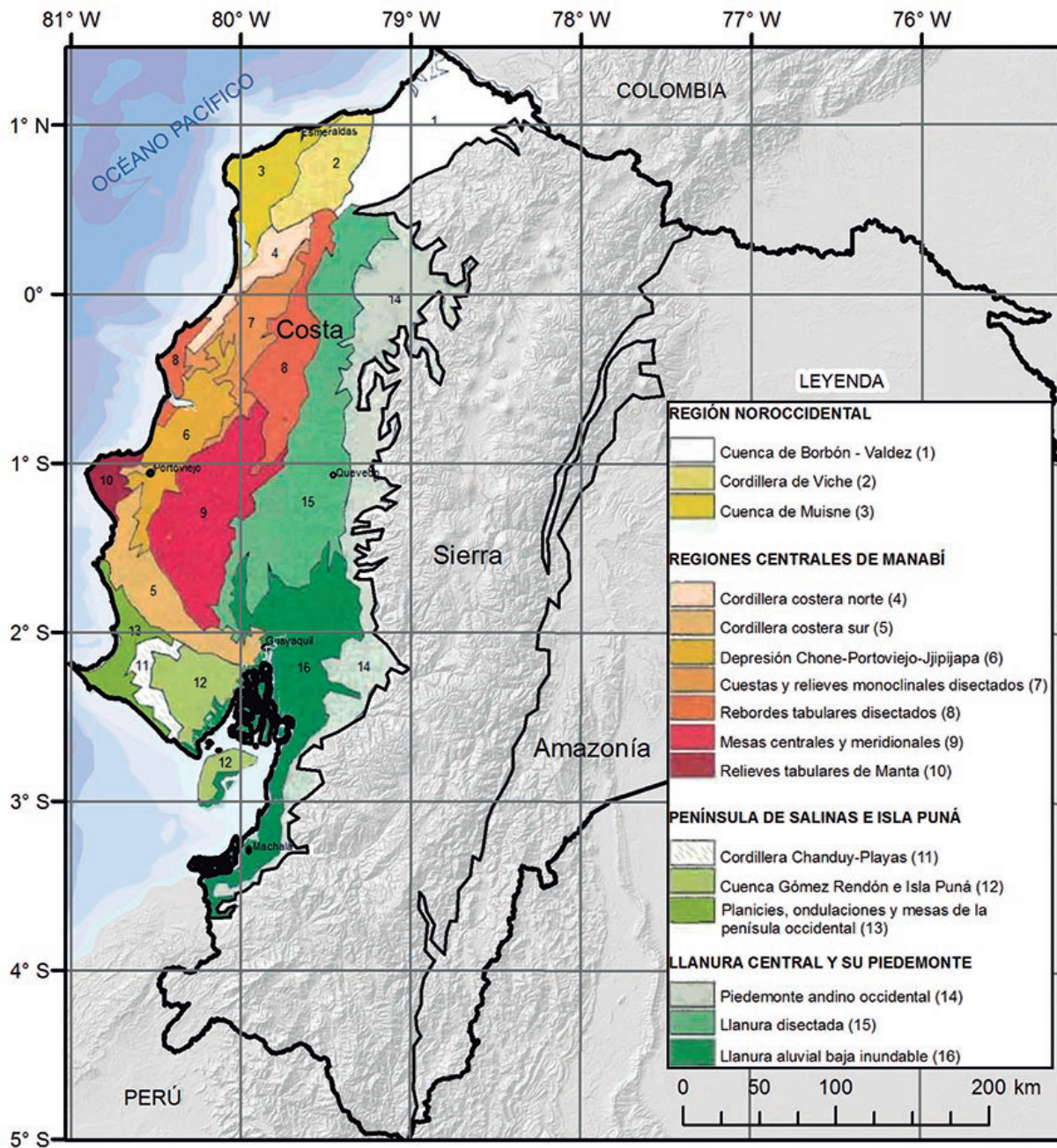


Figura 1.12. Descripción de los paisajes de la Costa de Ecuador. Adaptado de Winckell, *et al.* (1997b).

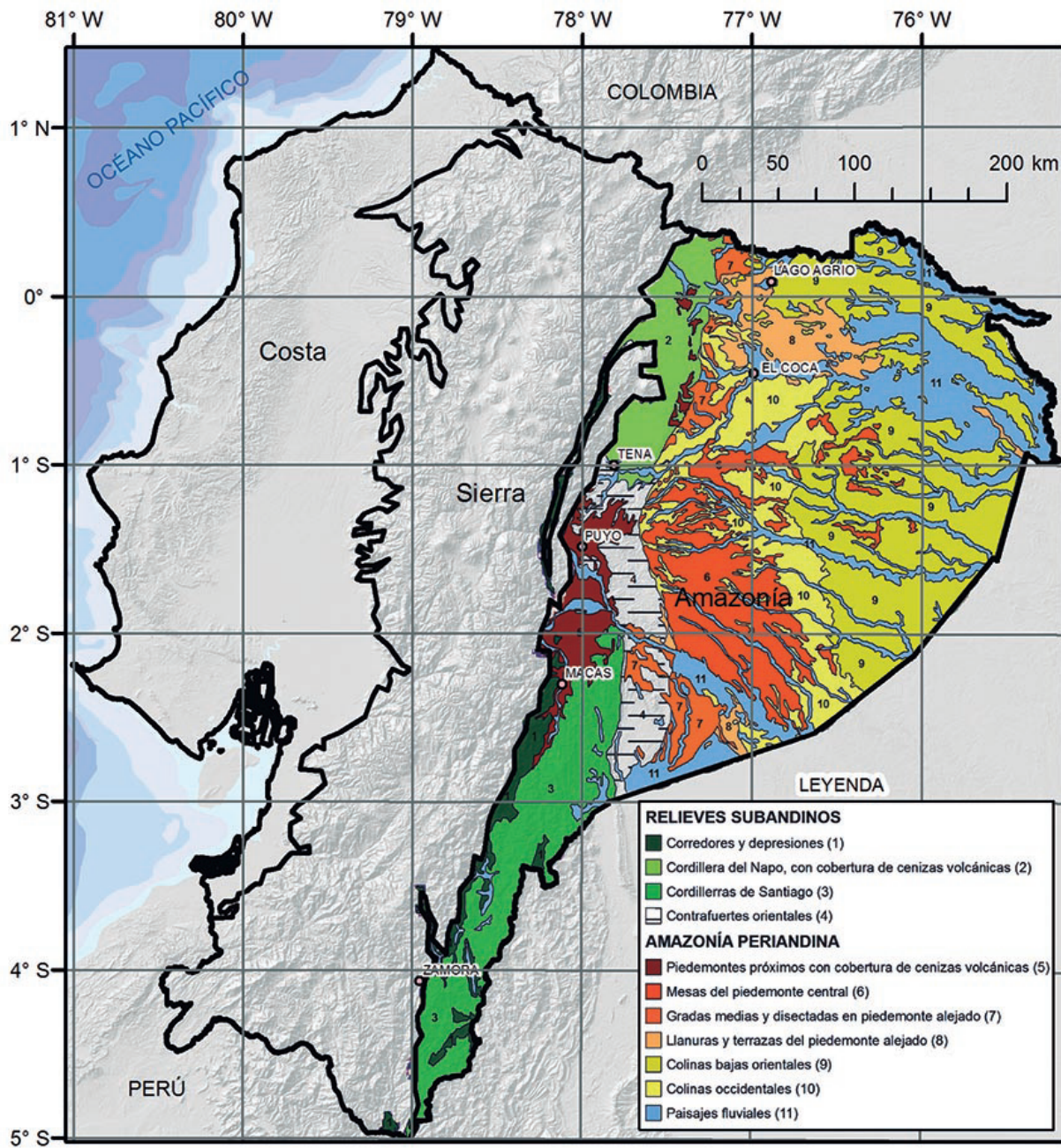


Figura 1.13. Descripción de los paisajes de la Amazonía. Adaptado de Winckell *et al.* (1997b).

Finalmente, los paisajes de las islas Galápagos están divididos en cuatro tipos (**Figura 1.14**): a) islas bajas o partes de islas bajas hasta poco elevadas, b) volcanes escudos sin caldera, c) volcanes escudos con caldera y d) formas comunes al conjunto del archipiélago.

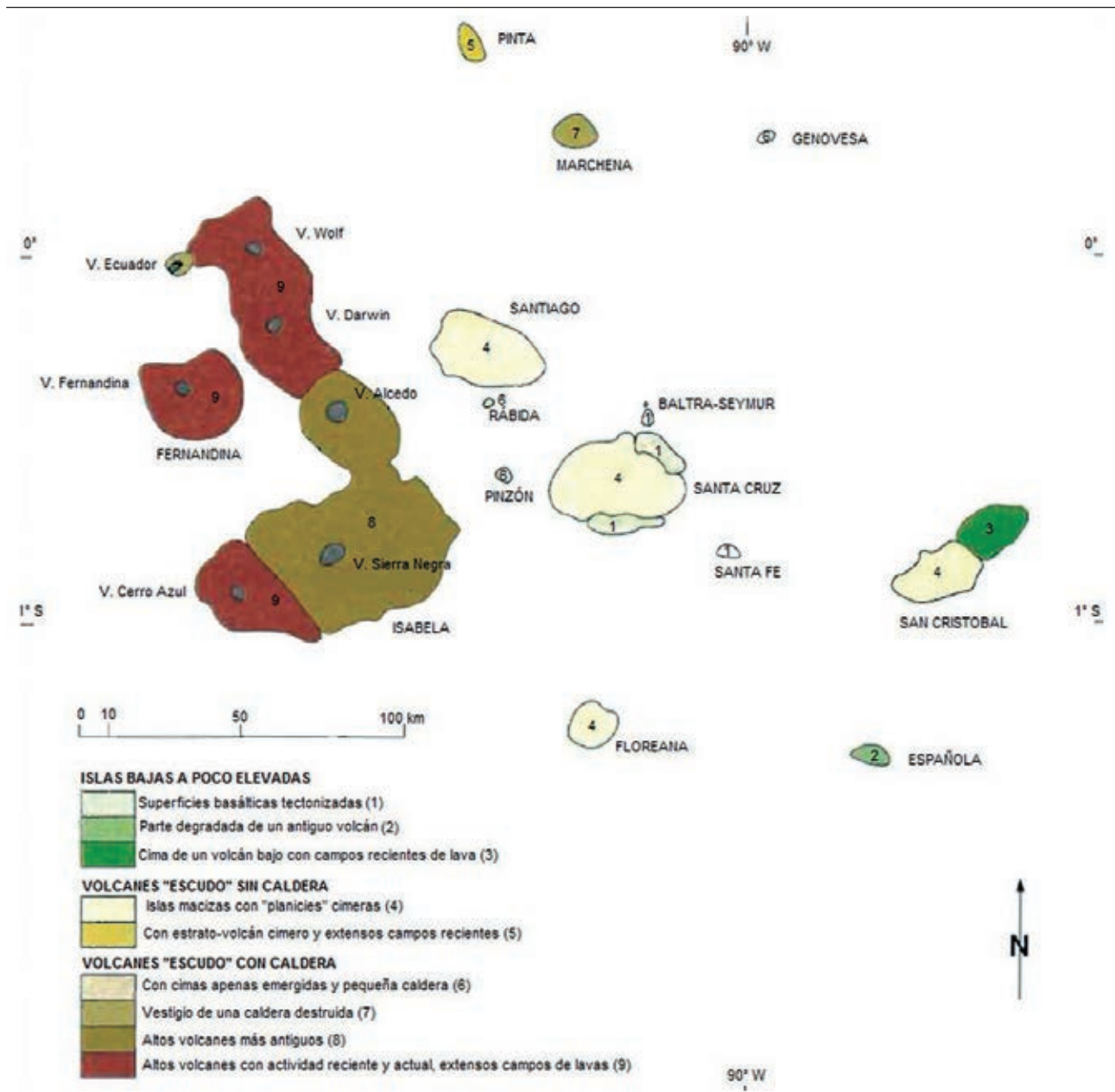


Figura 1.14. Descripción de los paisajes de las Islas Galápagos (Winckell, *et al.*, 1997b).

1.4. Relieve del Ecuador

La presencia de la Cordillera de los Andes, el gran eje montañoso meridiano ubicado en la parte media del Ecuador continental, separa el territorio en tres regiones o conjuntos cuyas delimitaciones y definiciones son innegables. En el centro se ubican los relieves montañosos de la cordillera de los Andes, al oeste las llanuras y relieves colinados de la región costera y al este las cordilleras, colinas y llanuras de la Amazonía (**Figura 1.15**). A estos tres conjuntos se añade el archipiélago de Galápagos, medio insular conformado por islas bajas y altos volcanes activos con caldera (Winckell, 1997).

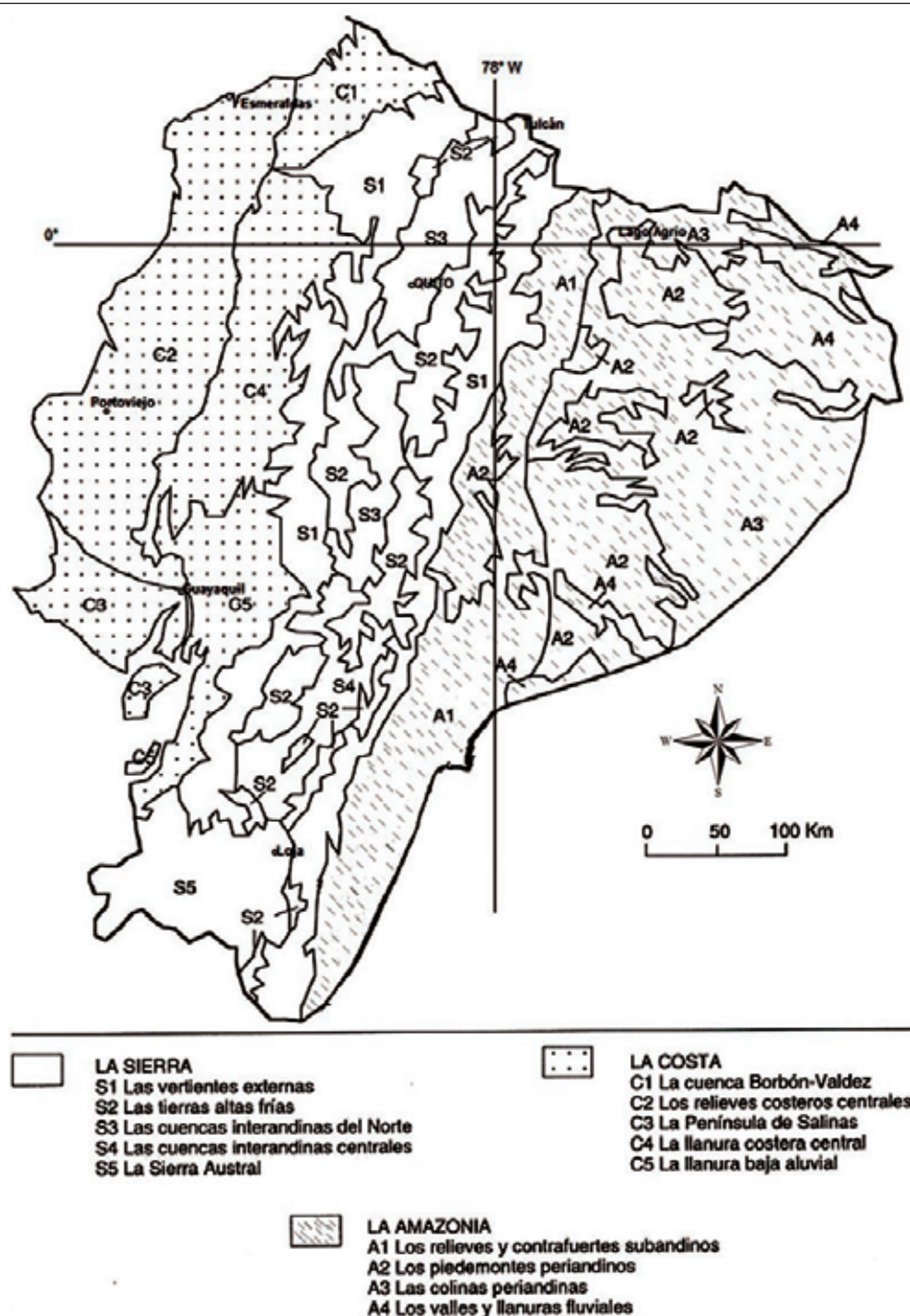


Figura 1.15. Grandes conjuntos de relieve del Ecuador continental (Winckell, *et al.*, 1997b).

1.4.1. Relieves de la Sierra

La Cordillera de los Andes o Sierra es la barrera montañosa meridiana más notoria en el Ecuador, con un ancho que varía entre 100 y 150 km de este a oeste. La parte central es la más estrecha, pero en el sur la barrera se ensancha debido a la presencia de las cordilleras subandinas amazónicas alcanzando entre 180 y 200 km de ancho. En el norte, en la zona ubicada entre la frontera con Colombia y la línea equinoccial, la cordillera tiene una dirección SSO-NNE y SO-NE, con la que se prolonga hacia Colombia. En el centro, entre la línea equinoccial y el paralelo 2° 30' S, la dirección es meridiana. Al sur, entre el paralelo 2° 30' S y la frontera con Perú, la cordillera se orienta en el sentido SSO-NNE, paralela a la línea costanera (Winckell, *et al.*, 1997b).

Andes Septentrionales

Desde Colombia hasta la latitud 2° 15' S (Palmira-Alausí), las cordilleras forman lo que Humboldt denominó la “Avenida de los Volcanes” (Winckell, *et al.*, 1997b), con la presencia de varios volcanes, algunos activos (ej. Tungurahua con 5 023 m s. n. m.) y otros apagados (ej. Chimborazo con 6 310 m s. n. m.). Las dos cordilleras tienen flancos externos muy empinados que son visibles desde la Costa o desde la Amazonía, con elevaciones de hasta 4 000 - 4 500 m s. n. m., de orientación meridiana al centro e incurvada hacia el este en el extremo norte.

Los relieves de esta zona se caracterizan por la huella glaciaria cuaternaria presente en las cimas y por los frecuentes depósitos eólicos de productos volcánicos. Entre las cordilleras se ubica la Cuenca Interandina, que es una depresión de apenas 20 km de ancho en la parte central y que está formada por las hoyas, que son depresiones de extensiones significativas como, por ejemplo, la hoya de Quito y la de otros valles como el Chota. Estas formaciones descansan en rellenos volcano-sedimentarios y su piso varía entre 1 600 y 3 000 m s. n. m. Las cuencas están separadas por los nudos, estructuras formadas por volcanes coalescentes y que generalmente poseen un sistema hidrográfico particular (Winckell, *et al.*, 1997b).

Andes Centrales

Los Andes Centrales parten desde Palmira-Alausí hacia el sur hasta la latitud de Zaruma-Saraguro. No poseen grandes volcanes recientes como los Andes Septentrionales y se asemejan a un altiplano ensanchado y monótono. El relieve de esta zona fue formado por derramamientos volcánicos, cuya estructura influye en la geomorfología de la zona. El ancho de la plataforma alcanza los 40 km al oeste de Cuenca y su altitud se reduce a medida que se avanza hacia el sur, donde solamente alcanza 3 800 m s. n. m. al oeste de Zaruma. Los valles varían en altitud desde los 1 600 m s. n. m. en Santa Isabel a 2 500 m s. n. m. en Saraguro y se ordenan en dos hileras paralelas orientadas de NE a SO, uniéndose entre sí a través de una sección montañosa ortogonal en el este. Así, Cuenca, Girón y Santa Isabel se ubican al oeste y Gualaceo, Nabón y Saraguro al este. Estos valles se abren hacia la Costa por el occidente a través de los ríos Huigra, Cañar y Jubones (Winckell, *et al.*, 1997b).

Andes Meridionales

Desde la latitud de Zaruma-Saraguro hasta la frontera con el Perú, el relieve es confuso con sitios bajos que se dirigen hacia el SSO y con los sitios más altos que apenas alcanzan los 2 500 m s. n. m. y que no muestran evidencias glaciares (Winckell, *et al.*, 1997b). El relieve en el sur tiene la apariencia de lomos alargados, prevalecen valles transversales ensanchados y con trazados ortogonales como los formados por los ríos Catamayo y Puyango que drenan pequeñas depresiones aisladas que tienen forma distinta. El aspecto fragmentado de los Andes Meridionales es más notorio por la reducción progresiva de altitud de la cordillera occidental y su remplazo por estribaciones ligeras, que poco a poco van convirtiéndose en los relieves más bajos de la Costa Occidental.

1.4.2. Relieves de la Costa

La Costa se inicia al pie de la cordillera occidental con una orientación norte-sur paralela a la Sierra. El ancho de esta franja es variable, alcanza alrededor de 100 km al norte, 180 km en la parte central, mientras que al sur, a la altura de Guayaquil, el ancho disminuye a 20-40 km. En general, el relieve de la Costa es moderado, el sitio más alto tiene 830 m s. n. m. y está ubicado en el centro-sur de la región. La Costa tiene dos partes geográficas diferenciadas: a) relieves costaneros al oeste y al norte, y b) llanuras costaneras al este y al sur (Winckell, *et al.*, 1997b).

Relieves Costaneros Occidentales

Están localizados al oeste, en una línea que une Guayaquil (al sur) con Quinindé (al norte). Estos relieves se dividen en secciones bien marcadas: Costa Norte, Costa Central y Península de Salinas (Winckell, *et al.*, 1997b).

Costa Norte: Entre el río Guayllabamba y la frontera con Colombia existe una gran cuenca, de forma redonda, rodeada de altos relieves colindantes. Por un lado, al sureste, está el flanco occidental de las Cordillera de los Andes y por el otro lado, al suroeste, están las altas colinas de Viche, que vienen a ser la culminación norte de los relieves de la Costa Central, con altitudes de 400 a 600 m s. n. m.

Esta gran depresión, abierta hacia el Océano Pacífico al noroeste, posee relieves muy ligeros, dominados por estructuras tabulares y colinas disectadas de altitudes entre 200 a 400 m s. n. m., que luego, en la cuenca Borbón-Valdez, se convierten en pequeñas colinas y planicies algo onduladas.

Costa Central: Esta formación posee relieves altos caracterizados por una línea de posición central de aproximadamente 20 km de ancho y de 800 m de altitud llamados cordillera de Mache al norte y cordillera de Colonche al sur. Este macizo, de una orientación general de NNE-SSO, toma una curva hacia el sureste (sur de Jipijapa) y luego baja hacia Guayaquil. Este relieve desaparece en el centro, entre Chone y Portoviejo, donde aparecen pocos macizos de aproximadamente 600 m s. n. m.

La Costa Central está bordeada, a ambos lados, por relieves colinarios. Al oeste se localiza una franja angosta de colinas fragmentadas y de poca altitud (400 m s. n. m.), con excepción del relieve localizado al suroeste de Manta, que avanza hacia San Lorenzo, del relieve entre Portoviejo y Chone, con valles fluviales, y del relieve del norte hacia Muisne. Al este, el relieve es más sencillo y está conformado por dos conjuntos físicos: a) relieve con características sedimentarias ubicado al norte, en una línea que va desde Portoviejo al El Empalme y que va decreciendo lentamente en altitud hacia el este y se inclina hacia la llanura oriental, y b) relieve del sur, de vistosos tabularios horizontales, con alturas entre 400 a 450 m s. n. m. que se orientan hacia el Guayas.

Península de Salinas: Esta Península, localizada en el sur de la Cordillera de Colonche, es más compleja y está compuesta por tres zonas diferentes ubicadas de este a oeste. Al centro, en dirección SE-NO, se encuentra una pequeña cordillera angosta y partida en macizos aislados que termina a 420 m s. n. m. en Chanduy. Esta cordillera separa notoriamente las llanuras y mesas bajas del litoral occidental (menos de 150 m s. n. m.) de los relieves colinarios de la cuenca Gómez Rendón al este. El relieve baja progresivamente hasta llegar a los manglares del Golfo de Guayaquil al este. La Isla Puná tiene el mismo tipo de relieve, pero con menor altitud, el sitio más alto llega a 260 m s. n. m.

Llanuras Costaneras Occidentales

Las llanuras van desde Quinindé al norte hasta Huaquillas al sur, con un ancho de 90 km orientadas de este a oeste en Guayaquil y de 15 a 20 km al norte de Machala. Existen dos llanuras: a) llanura central alta y b) llanura aluvial baja.

Llanura Central Alta: Este relieve superficial ondulado se encuentra entre Quinindé al norte y Daule-Catarama al sur. La altitud de 650 m s. n. m. al norte (en Santo Domingo) se reduce a 220 m s. n. m. en Quinindé al noroeste y a 20-40 m s. n. m. en el sur. Esta estructura se origina de conos y llanuras de esparcimiento antiguos ligeramente disectados. El ancho máximo de esta zona es de 80 km al norte de Santo Domingo.

Llanura Aluvial Baja: Este relieve monótono se localiza al sur de la Llanura Central Alta y tiene altitudes inferiores a 20 m s. n. m. Cerca de la desembocadura del río Guayas se encuentran las zonas susceptibles a inundación. La transición con el medio marino son los manglares que abundan en las islas formadas

por los depósitos de sedimentos acumulados en el río Guayas. En el sitio de contacto de la llanura con el pie de la vertiente andina occidental aparecen algunos conos coalescentes que forman el piedemonte. Esta formación, que tiene una extensión de 40 km (entre Bucay y El Triunfo), se caracteriza por tener una suave pendiente hacia el oeste. La angosta faja de 10-15 km, que se prolonga hacia el sur, tiene características parecidas a las descritas anteriormente y está incrustada entre el piedemonte andino al este y los manglares al oeste.

1.4.3. Relieve Amazónico

El relieve de la Amazonía ecuatoriana se divide en tres tipos de formas (Winckell, *et al.*, 1997b): a) relieves subandinos, b) piedemontes periandinos y c) colinas y valles periandinos.

Relieves Subandinos

Se trata de relieves montañosos o submontañosos entre 2 500 y 500 m de altitud. Nombres locales, como las cordilleras de Lumbaquí, Huacamayos, Cutucú o Cóndor, indican los paisajes más elevados o accidentados de estos relieves.

En la parte central de esta formación aparece un extenso piedemonte, con relieves que sobresalen en el sector del Tena, y que se caracterizan por tener una cúpula alargada y maciza, con quebradas y cañones por donde circula la red hidrográfica del río Quijos. El sitio más alto está en el volcán Sumaco con 3 900 m s. n. m., pero la mayoría de puntos altos no pasan de los 2 000 m s. n. m.

Estos conjuntos de relieves están separados de la vertiente andina oriental por una depresión meridiana casi continua, exceptuando el extremo norte. La vertiente empieza en El Chaco al norte y continua hasta El Puyo formando un corredor angosto con flancos empinados, que luego se extiende hacia el sur hasta Zamora. El corredor se ensancha entre Macas y Méndez formando una pequeña depresión por donde pasa el río Namangoza.

El relieve de la parte central prácticamente forma un orificio a la salida del río Pastaza, entre la terminación del río Napo al norte y el pie de la Cordillera del Cutucú al sureste, con altitudes que varían entre 600 y 900 m s. n. m. En esta formación se observan relieves ligeramente colinados o estructuras fosilizadas y quemadas de restos detríticos del piedemonte.

Piedemontes Periandinos

Los Piedemontes Periandinos se encuentran principalmente en la región central de la Amazonía ecuatoriana, a ambos lados del río Pastaza. Estas formaciones están constituidas por dos grandes tipos: a) piedemontes elevados o mesas y b) bajo-piedemontes.

Los piedemontes elevados aparecen desde 1 500 m s. n. m. al oeste de El Puyo, bajando ligeramente hasta los 300 m s. n. m. cerca de la frontera con Perú. Esta formación es un gran cono de esparcimiento tabulario, antiguo y diseccionado que al este se convierte en jirones alargados, disectados, con acantilados, lomas y cimas estrechas que posteriormente se atenúan.

Los bajo-piedemontes se encuentran debajo de los relieves subandinos, desde el Napo al norte hasta la Cordillera del Cutucú al sur. Están formados por niveles escalonados, planos, algo extensos, inclinados hacia el este, con evidencias de esparcimientos aluviales continuos de la red hidrográfica amazónica. El relieve no supera los 600 m s. n. m. al este. Como ejemplo de estas formaciones están las llanuras de Shushufindi al norte y las de Cangaime al sur.

Colinas y Valles Periandinos

Este relieve monótono, menor a 300 m s. n. m., está formado por colinas desarrolladas sobre rocas sedimentarias terciarias y recubrimientos continuos a los esparcimientos cuaternarios. La monotonía se intensifica debido a la cobertura forestal que cubre de manera homogénea el relieve. Entre estas colinas se encuentran las grandes llanuras aluviales, que son valles anchos, ubicados básicamente entre los ríos Napo y Aguarico. El relieve también incluye pantanos y zonas inundadas que se formaron por efecto de los desbordamientos de los ríos que constituyen la red hidrográfica amazónica.

1.4.4. Relieve de las Islas Galápagos

El Archipiélago de Galápagos está formado por un conjunto de 5 islas grandes, 14 medianas y 68 islotes o rocas, que alcanza una superficie aproximada de 8 000 km². Está ubicado en la línea ecuatorial, a 1 000 km al oeste de la Costa ecuatoriana.

Morfológicamente, en el Archipiélago se distinguen tres agrupaciones: a) islas bajas y poco elevadas (ej. Baltra, Seymour), con relieve ligeramente ondulado y con alturas que no pasan los 220 m s. n. m.; b) volcanes escudo sin caldera (ej. Floreana, Santiago y Santa Cruz), que son volcanes antiguos elevados (920 m s. n. m.), sin calderas y sin actividad, exceptuando el flujo de lavas en la Pinta y Santiago; c) volcanes escudo bajos con caldera (ej. Marchena, Rábida); y c) grandes volcanes escudo con calderas cimeras (ej. Isabela) (Figura 1.16) (Winckell, 1997).



Figura 1.16. Tipos de islas del archipiélago de Galápagos. Adaptado de Winckell (1997).

Los volcanes de las islas Galápagos se distinguen de la siguiente forma: a) cimas de volcanes bajos, con una pequeña caldera cimera (ej. Genovesa, Pinzón con 435 m s. n. m.); b) vestigios de grandes volcanes destruidos con una altura cercana al nivel del mar (ej. isla Marchena, volcán Ecuador); y c) volcanes majestuosos de las

islas Fernandina e Isabela, con altitudes de 1 660 m s. n. m. (volcán Wolf) y 1 080 m s. n. m. (volcán Sierra Negra). Estos últimos volcanes tienen forma de escudo, con vertientes inferiores ligeras, flancos superiores fuertes y una cima con un hoyo en el centro formado por una caldera de hundimiento. Algunos escudos tienen ligera actividad fumarólica, con flancos cubiertos por vegetación (ej. volcán Alcedo), mientras otros todavía emiten de lava volcánica, como por ejemplo los volcanes Sierra Negra y Cerro Azul (**Figura 1.14**).

1.5. Evolución Geodinámica del Ecuador

Geológicamente, el Ecuador está localizado en el punto de unión de los Andes centrales con los Andes septentrionales, al nivel del Rift de las Galápagos, que es una zona de expansión oceánica de este a oeste que separa la placa de Nazca (sur) de la placa de Cocos (norte) (Marocco y Winter, 1997; Winckell, 1997; Collot, *et al.*, 2009).

La Costa está formada por rocas magmáticas de origen oceánico que se acoplaron al continente a finales del Cretácico (hace aproximadamente 80 millones de años), cubiertas por zonas sedimentarias marinas de edad terciaria o cuaternaria (**Figura 1.17**).

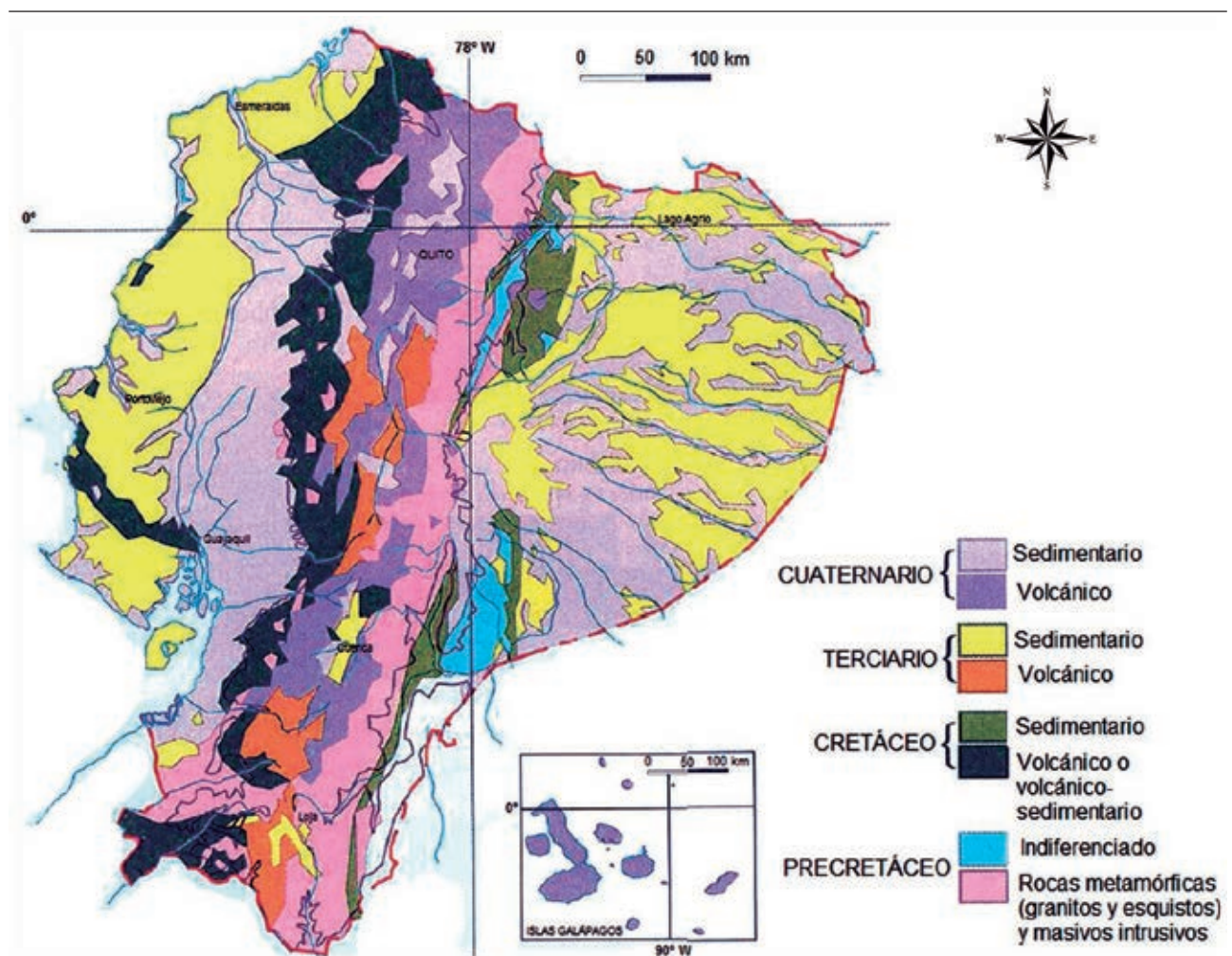


Figura 1.17. Mapa geológico del Ecuador (León, 2010).

Los Andes están formados por cortezas continentales cubiertas por rocas sedimentarias y magmáticas deformadas de diferentes edades. Se formaron como resultado de un proceso geológico complejo iniciado en el Precámbrico, en el cual se alternaron ciclos de sedimentación, magmatismo y deformación. La Cordillera Occidental, la más joven, es el resultado del aplastamiento de volcanes. La Cordillera Oriental

fue formada en el Mesozoico por rocas sedimentarias y magmáticas. El valle interandino, localizado entre las dos cordilleras se formó en el Cenozoico y dio lugar a cuencas sedimentarias continentales afectadas por actividad tectónica y por volcanismo plio-cuaternario reciente (Apsden, *et al.*, 1988; Marocco y Winter, 1997) (**Figura 1.17**).

El piedemonte oriental (zona subandina), que une los Andes con el Escudo Guyano-Brasileño, se caracteriza por tener bajas altitudes y está formado por una corteza continental cubierta por zonas sedimentarias del período Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico, pero la mayor parte de las deformaciones aparecieron durante el Cenozoico (**Figura 1.17**) (Marocco y Winter, 1997).

1.6. Regiones Climáticas y Formaciones Vegetales Naturales

El Ecuador se encuentra en el cinturón de bajas presiones ecuatoriales, en la zona de oscilación del Frente Inter Tropical (FIT) o zona de convergencia intertropical, que genera masas de aire continental seco y relativamente fresco sobre la mayor parte del país desde mayo-junio hasta septiembre-octubre, y masas de aire oceánico húmedo y caliente el resto del año.

Esta zona del FIT afecta de manera diferente a las tres regiones del país (Huttel, 1997). En la Costa, esta zona es más o menos duradera dependiendo de la latitud, generando una sola estación lluviosa con su máximo en el mes de marzo. El clima de esta región también es influenciado por las oscilaciones latitudinales de dos corrientes marinas antagónicas que se asocian a masas de aire oceánico y que acompañan al desplazamiento del FIT por ambos lados de la línea ecuatorial: una masa de aire caliente y húmedo acompaña a la corriente caliente del Niño que viene desde el Golfo de Panamá (al norte) y que llega a las costas del Ecuador de diciembre a mayo. Las aguas calientes se convierten entonces en lluvias que van disminuyendo hacia el sur. La otra corriente marina es la fría de Humboldt que viene desde el sur y se asocia a masas de aire fresco y seco que prevalecen en las costas ecuatorianas el resto del año. Esta corriente genera una estación seca y fresca que es más acentuada en el sur del país. Los cambios del movimiento de estas dos corrientes, causadas posiblemente por los vientos, dan como resultado lluvias anómalas que son bajas cuando predomina la corriente de Humboldt sobre la del Niño y fuertes cuando predomina la del Niño como sucedió en los años 1982 y 1983, cuando el fenómeno del Niño se marcó en la región.

En la región Andina, el FIT sigue el movimiento aparente del sol que cruza la línea ecuatorial dos veces al año, causando lluvias en ambos casos, condición que produce dos períodos húmedos separados por dos períodos secos. Las primeras lluvias (marzo-junio) corresponden al ascenso del FIT hacia el norte. El segundo ciclo de lluvias (octubre-diciembre) corresponde al descenso hacia el sur, llegando hasta cerca de 5° de latitud sur. En el período seco predominan las masas de aire continental seco y fresco que llegan del sur-este.

En la Amazonía, el paso del FIT prácticamente no afecta la normal masa de aire caliente y húmedo, lo que genera un régimen de lluvias usualmente uniforme durante todo el año, con un máximo en los meses de junio y julio.

El clima del Ecuador se puede clasificar de acuerdo a tres parámetros (Pourrut, 1983; Huttel, 1997): a) régimen anual de precipitaciones, que a su vez se clasifica en clima uniforme (estación lluviosa o seca marcada), clima tropical (con una estación lluviosa y una seca) y clima ecuatorial (con dos estaciones lluviosas y dos secas); b) valores de las lluvias anuales (**Figura 1.18**), con clima árido (precipitaciones anuales < 500 mm), clima seco (entre 500 y 1 000 mm), clima húmedo (1 000 a 2 000 mm) y clima muy húmedo (> 2 000 mm); y c) rangos de temperaturas medias anuales, que incluyen climas megatérmicos (temperaturas medias anuales > 22 °C), climas mesotérmicos (entre 12 y 22 °C) y climas fríos o microtérmicos (temperaturas < 12 °C). Estos parámetros, a su vez, dividen al país en nueve zonas de influencia climática (**Figura 1.19**). En la Costa: a) clima tropical megatérmico árido; b) clima tropical megatérmico seco; y c) clima tropical megatérmico húmedo. En la Sierra: a) clima

ecuatorial mesotérmico húmedo; b) clima ecuatorial mesotérmico seco; c) clima ecuatorial frío; y d) clima ecuatorial megatérmico muy húmedo. En la Amazonía el clima se clasifica como uniforme megatérmico muy húmedo y en las Islas Galápagos como clima ecuatorial insular.

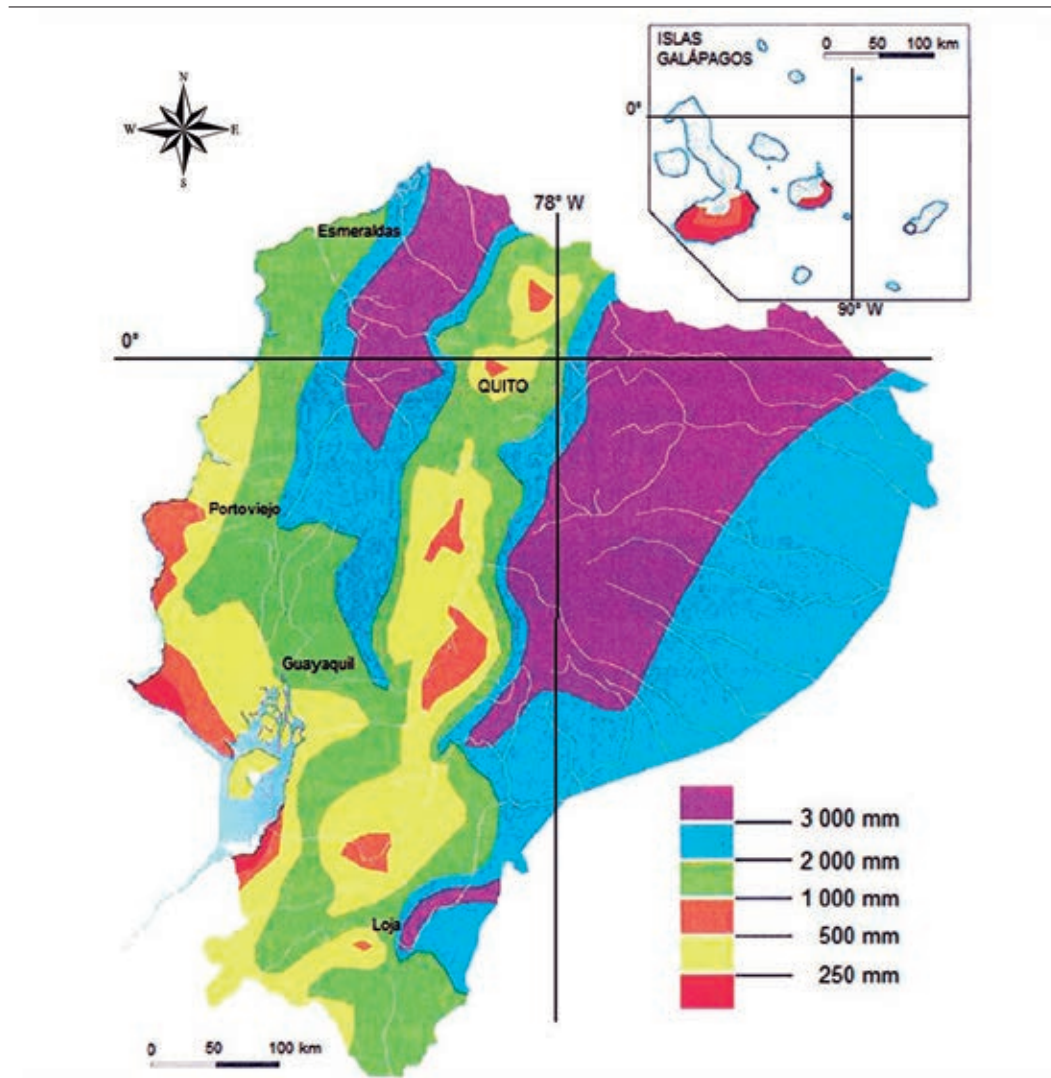


Figura 1.18. Pluviometría anual en el Ecuador (Pourrut, 1983; León, 2010).

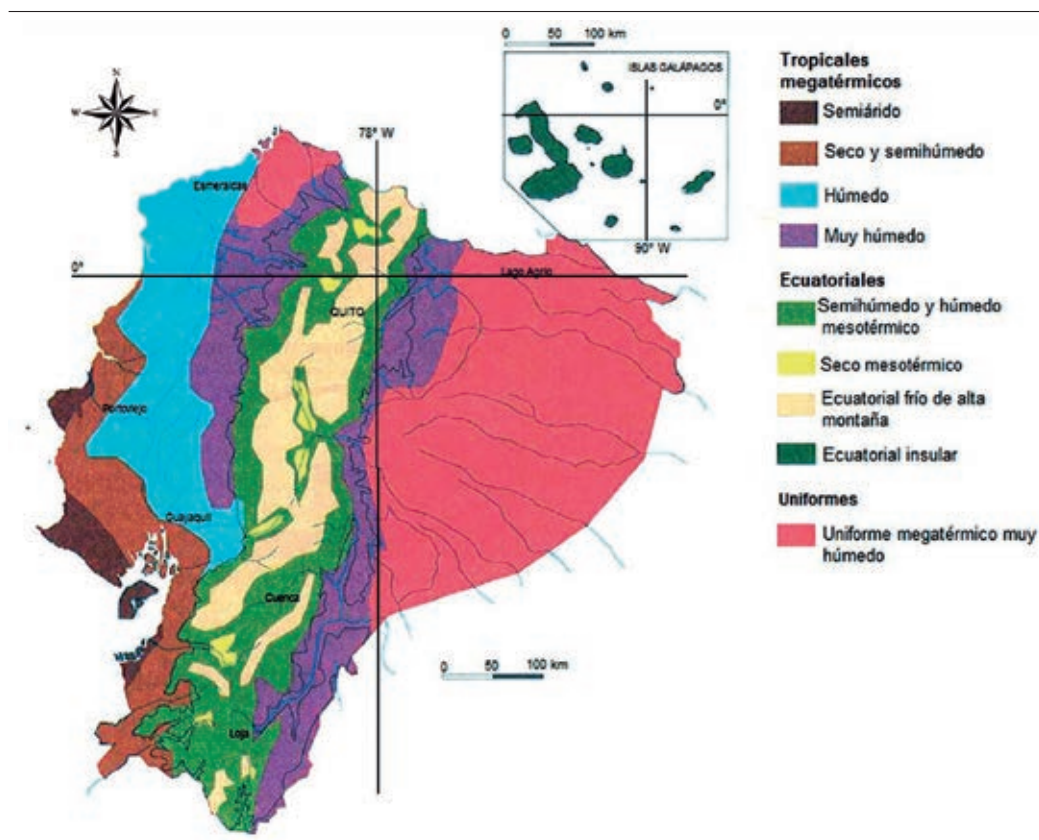


Figura 1.19. Tipos de climas en el Ecuador (Pourrut, 1983; León, 2010).

Con respecto a las formaciones vegetales, los principales factores que determinan la distribución de la vegetación natural y la de los cultivos son la temperatura y la pluviometría. Las temperaturas en el Ecuador son prácticamente constantes por piso altitudinal a lo largo del todo el año (los datos de las estaciones climatológicas muestran que existe una disminución de las temperaturas promedio anuales del orden de 1°C por cada 300 m de altitud) (Huttel, *et al.*, 1999). Por otro lado, hay otros parámetros climáticos que también afectan la distribución de los cultivos; así, en la región costera se encuentran valores elevados de insolación solo en la franja litoral y éstos disminuyen rápidamente tierra adentro, debido a las neblinas de la estación seca (garúa) en los relieves costeros o a las nubes casi permanentes de las vertientes andinas. Estas condiciones generan un efecto positivo al prolongar la estación húmeda más allá de la estación lluviosa, permitiendo la ampliación de ciertos cultivos fuera de su zona climática óptima. Las cuencas interandinas y, en menor medida, la llanura amazónica tienen valores altos de insolación (**Figura 1.20**).

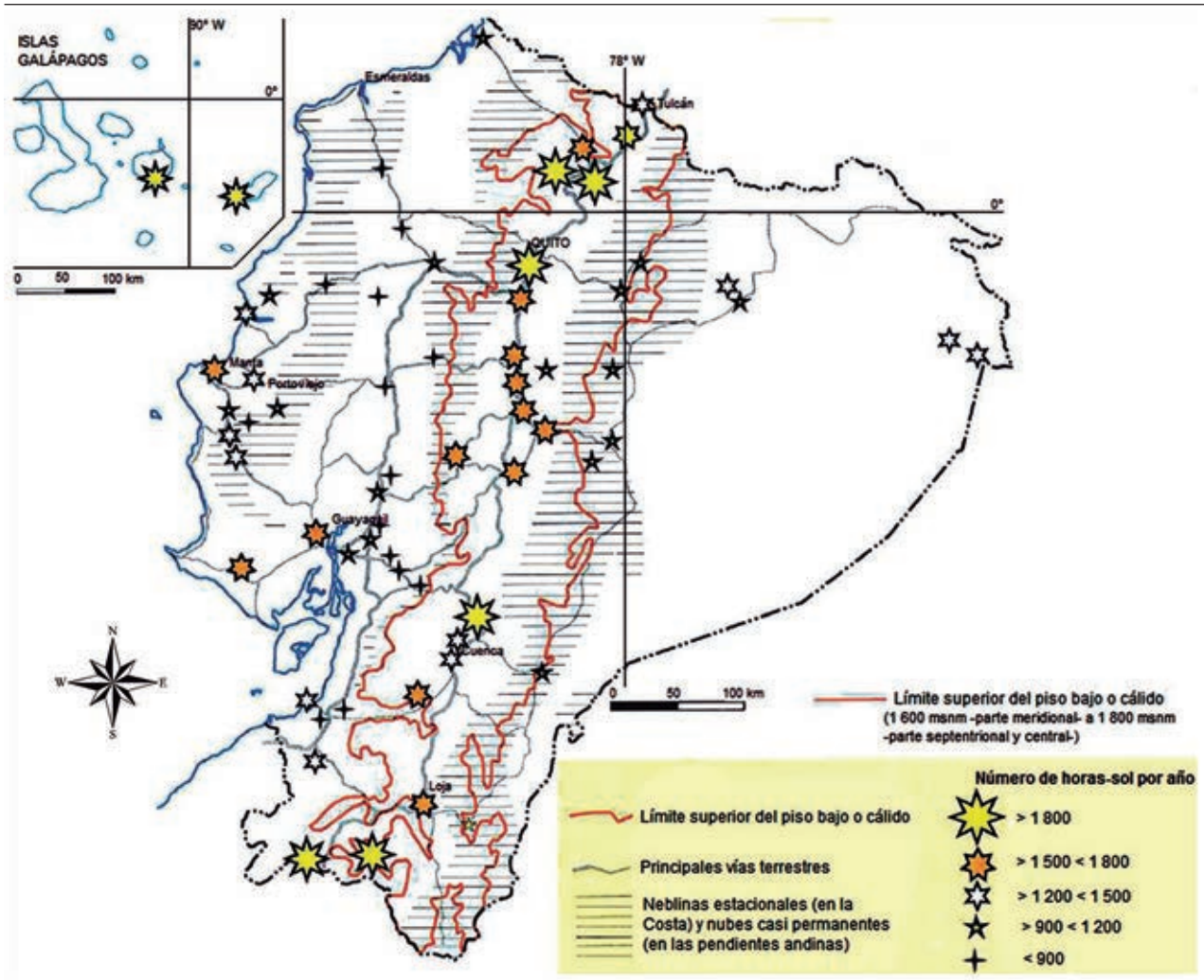


Figura 1.20. Repartición de las principales zonas con neblinas o nubes (permanentes o estacionales) y rangos de heliofanía anual (Huttel, *et al.*, 1999).

De igual manera, la revisión cronológica de Huttel (1997) sobre la clasificación de las coberturas vegetales naturales del Ecuador incluye citas como la de Acosta Solís (1977), quien propone una clasificación geobotánica con base a la temperatura y precipitación, y la de Cañadas (1983), quien combina los dos factores climáticos según el método de Holdridge, generando una cartografía de bio-climas, donde se especifica la localización de algunas plantas características del país. Sin embargo, Huttel considera que las clasificaciones de ambos autores no son perfectas y que la clasificación de Naranjo (1981) es la más satisfactoria. La clasificación de Naranjo, junto con la propuesta por Patzelt y Echeverría (1985) y la de Sarmiento (1987) proporcionan información global sobre los tipos de vegetación del Ecuador.

Huttel también realizó sus propias observaciones durante sus salidas al campo (recolectando más de 2 000 muestras de herbario) y describió en detalle los principales grupos y especies vegetales de las diferentes zonas en cada piso altitudinal de la siguiente forma (**Figuras 1.21 y 1.22**): a) piso de baja altitud (temperaturas $> 20^{\circ}\text{C}$: límite superior alrededor de 1 800 m s. n. m., en la parte septentrional y central, y hacia los 1 600 m s. n. m. en su parte meridional), con vegetación de zonas áridas, muy secas, secas, húmedas, muy húmedas, hiper-húmedas, formaciones vegetales azonales y vegetación de las Islas Galápagos; b) piso intermedio (temperaturas promedio anuales entre 13 y 20°C : entre los 1 800 a 3 200 m s. n. m. en el norte y 1 600 a 2 800 m s. n. m. en el sur), que incluye la vegetación de las vertientes exteriores de los Andes, las depresiones intra-andinas y vegetación azonal; c) piso alto (límite inferior de 2 800 m s. n. m. en el sur y de 3 200 m s. n. m. en el norte, con un límite superior de alrededor de 3 600 m s. n. m.), con vegetación de zonas hiper-húmedas, muy húmedas, húmeda y seca; y d) piso muy alto (temperaturas promedio anual inferior a 10°C), que incluye vegetación como el matorral y el páramo.

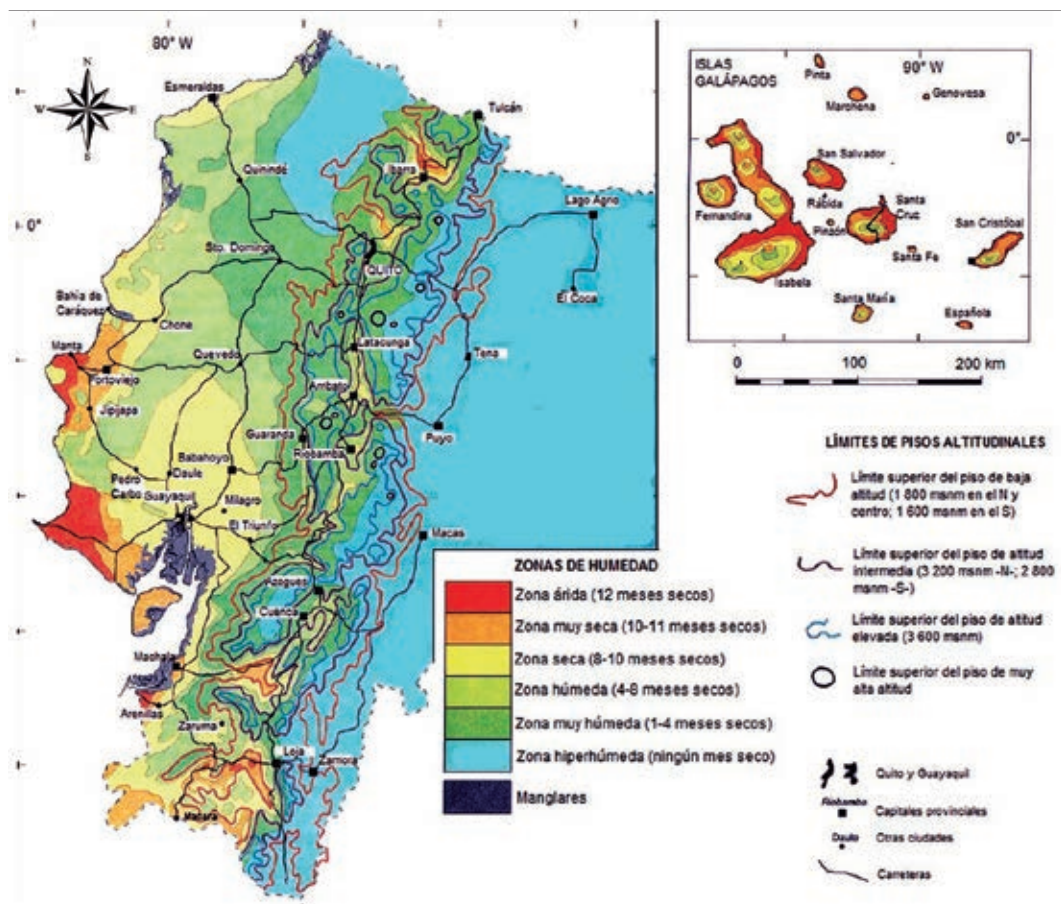


Figura 1.21. Pisos altitudinales y zonas de humedad (Huttel, *et al.*, 1999).

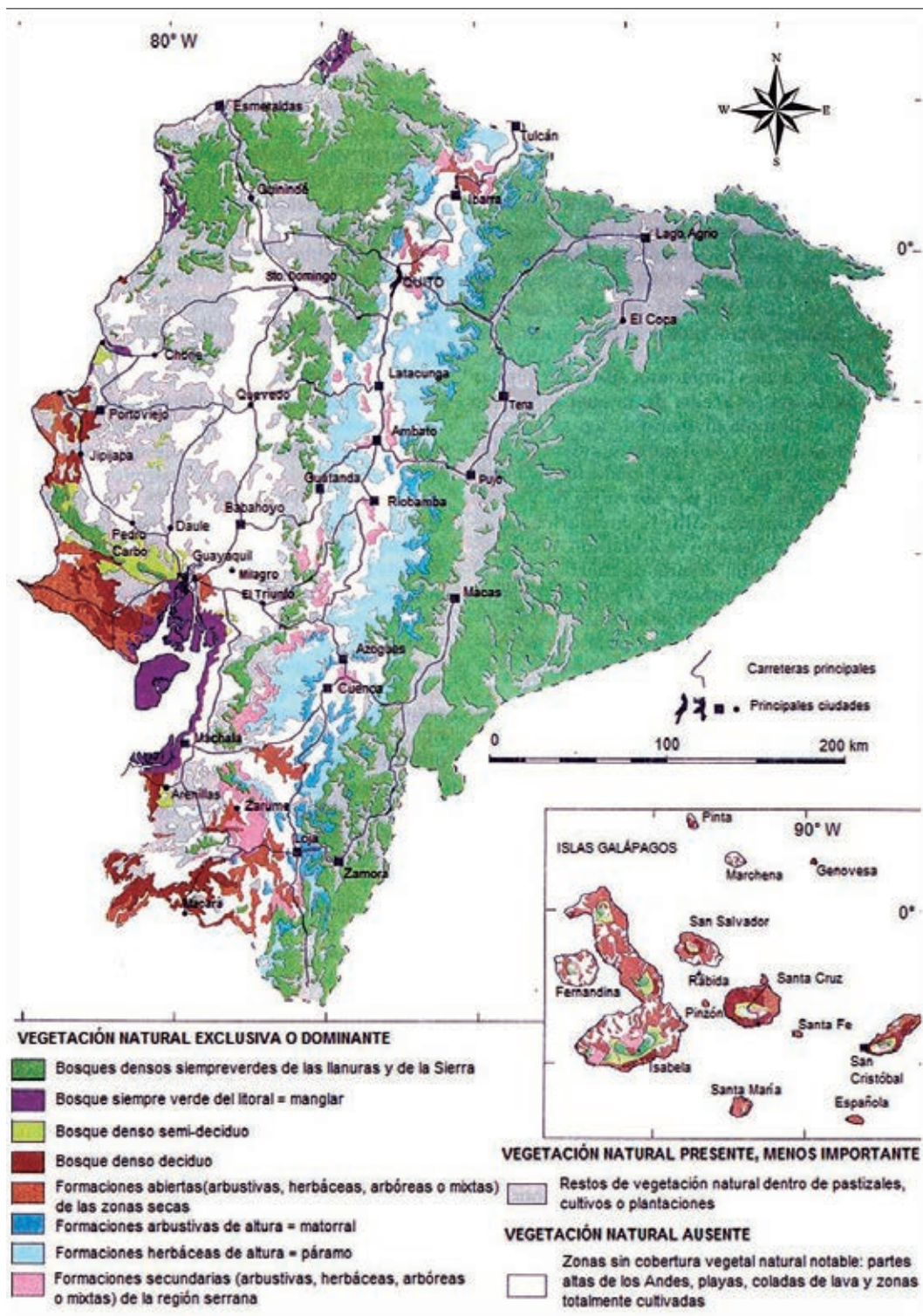


Figura 1.22. Distribución de las formaciones vegetales naturales en Ecuador (Huttel, *et al.*, 1999).

1.7. Hidrografía e Hidrología del Ecuador

La Hidrología depende del relieve, grado de alteración de las rocas, clima y vegetación (Pourrut, 1997), siendo el relieve y la precipitación los factores más relevantes en el trazado y densidad de la red hidrográfica. Por lo tanto, los ríos, la orografía y las lluvias interactúan estrechamente, generando una fuerte correlación. El Ecuador, con su relieve peculiar, posee una gran diversidad de regímenes hidrológicos y una significativa heterogeneidad de sistemas de aguas superficiales dependientes de la diversidad de las condiciones físico-climáticas.

Estas condiciones presentan ventajas y desventajas. Entre las ventajas está el hecho de que Ecuador es un país rico en recursos hídricos. Existe una escorrentía media total (volumen de agua procedente de las precipitaciones que se escurre por los cauces superficiales y subterráneos) de 432 000 hm³/año, con una escorrentía específica de 1 600 mm/año, muy superior a la media mundial que es del orden de 300 mm/año (FLACSO, *et al.*, 2008). Tomando en cuenta las irregularidades temporales y espaciales, la disponibilidad media de agua es de 14 809 m³/habitante/año, superior a la media mundial de 10 800 m³. Se ha calculado que el potencial bruto hidroeléctrico de Ecuador es de alrededor 643 000 gigawatios hora/año (Gwh/año).

Hasta el año 2010 se utilizaron solamente 6 200 Gwh/año (León, 2010). Con la incorporación de las centrales hidrolécticas construidas en los últimos años la utilización de energía hidroeléctrica se incrementó y que en agosto del 2019 fue de alrededor de 23 000 Gwh (ARCONEL, 2019), todavía lejos el potencial establecido. La principal desventaja de este amplio sistema hidrológico es el alto potencial de erosión del suelo promovido por el exceso de escorrentía. Se considera que la degradación por erosión en la región andina remueve del sitio alrededor de 1 000 t de suelo/km²/año, pudiendo alcanzar en algunos casos cantidades de hasta 6 000 t/km²/año (Pourrut, 1997).

La clasificación de los regímenes hidrológicos del Ecuador se hizo apoyándose en la clasificación del régimen de los ríos que se basa en dos criterios: a) naturaleza y origen de las aguas altas (pluviales, nieves, glaciares) y b) simplicidad o complejidad de la variación anual de los caudales (regímenes sencillos, mixtos y complejos). Según esto, las nueve grandes clases de redes y regímenes hidrológicos del Ecuador son (**Figura 1.23**): a) régimen pluvial tropical semi-húmedo de la Costa, con precipitaciones anuales de 500 a 2 000 mm; b) régimen pluvial tropical muy húmedo de la Costa septentrional, pluviometrías superiores a 3 000 mm; c) régimen pluvial tropical árido de la Costa meridional, pluviosidad inferior a 500 mm; d) régimen pluvial tropical complejo de la Cuenca del Guayas; e) régimen pluvial tropical complejo de los exteriores de la Cuenca del Guayas (ladera exterior de la Cordillera occidental y particularmente los ríos Angamarca, Prieto, Chanchán, Bulubulu y Cañar), precipitaciones siempre superiores a 2 000 mm concentradas entre enero y abril; f) régimen pluvio-nival interandino; g) régimen pluvial andino meridional con influencia oriental; h) régimen glacio-nival de montaña; e i) régimen pluvial persistente muy húmedo de la región Amazónica, con precipitaciones de alrededor de 2 000 mm (valles de Palora y Zamora) y 6 000 mm anuales (zona del volcán Reventador).

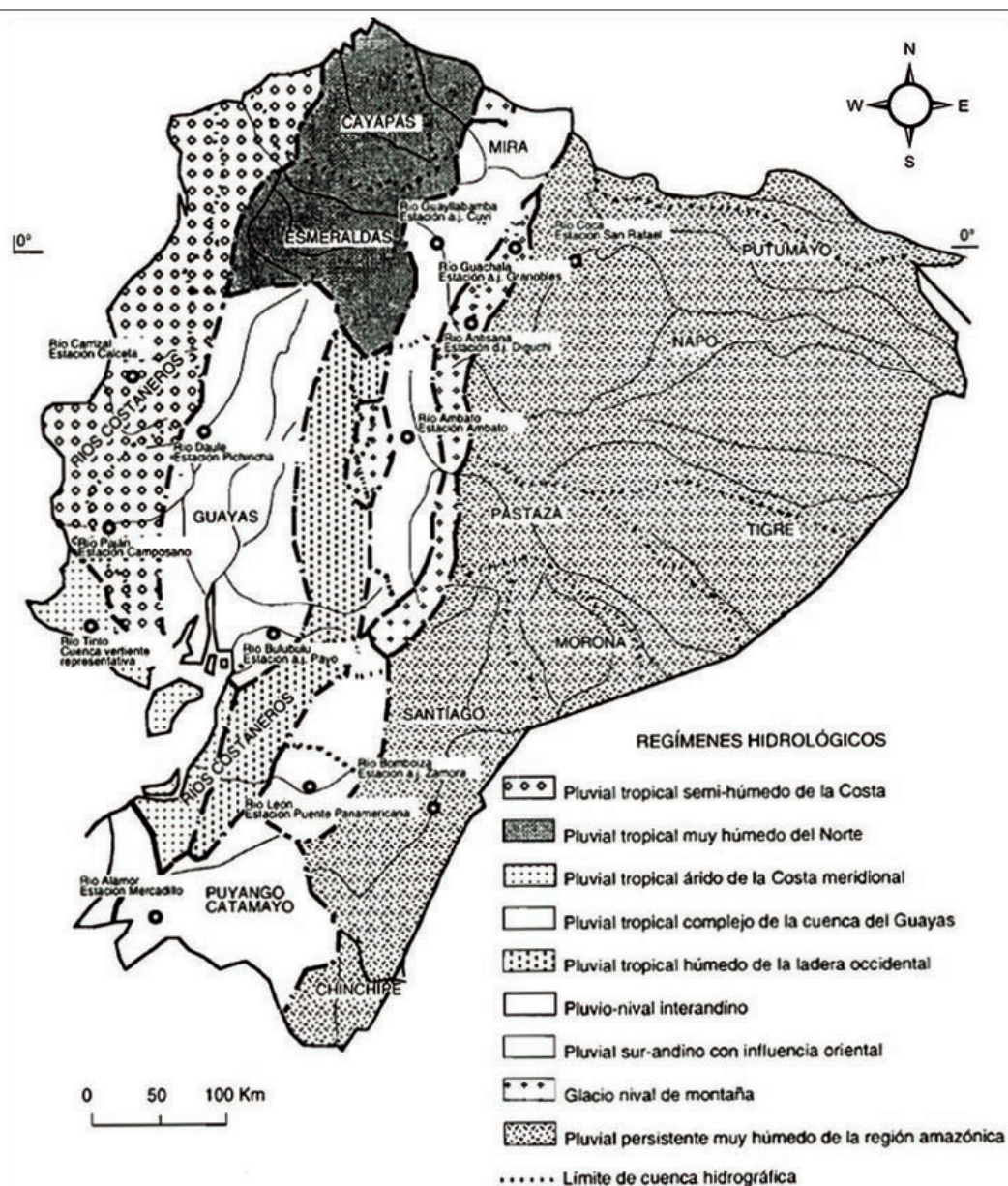


Figura 1.23. Regímenes hidrológicos del Ecuador continental (Pourrut, 1997).

1.8. Pedogénesis y los Suelos del Ecuador

La información más relevante sobre la pedogénesis y los suelos del Ecuador fue publicada por Zebrowski y Sourdat (1997) y Huttel, *et al.* (1999). Estos autores agruparon los suelos del país en tres conjuntos basándose en los materiales sobre los cuales se desarrollaron: a) suelos aluviales; b) suelos sobre cenizas volcánicas; y c) suelos sobre otros materiales (rocas antiguas). Dentro de cada conjunto se definieron categorías por sus características morfológicas, mineralógicas o físico-químicas, como se describen en la **Figura 1.24** y el **Cuadro 1.1**.

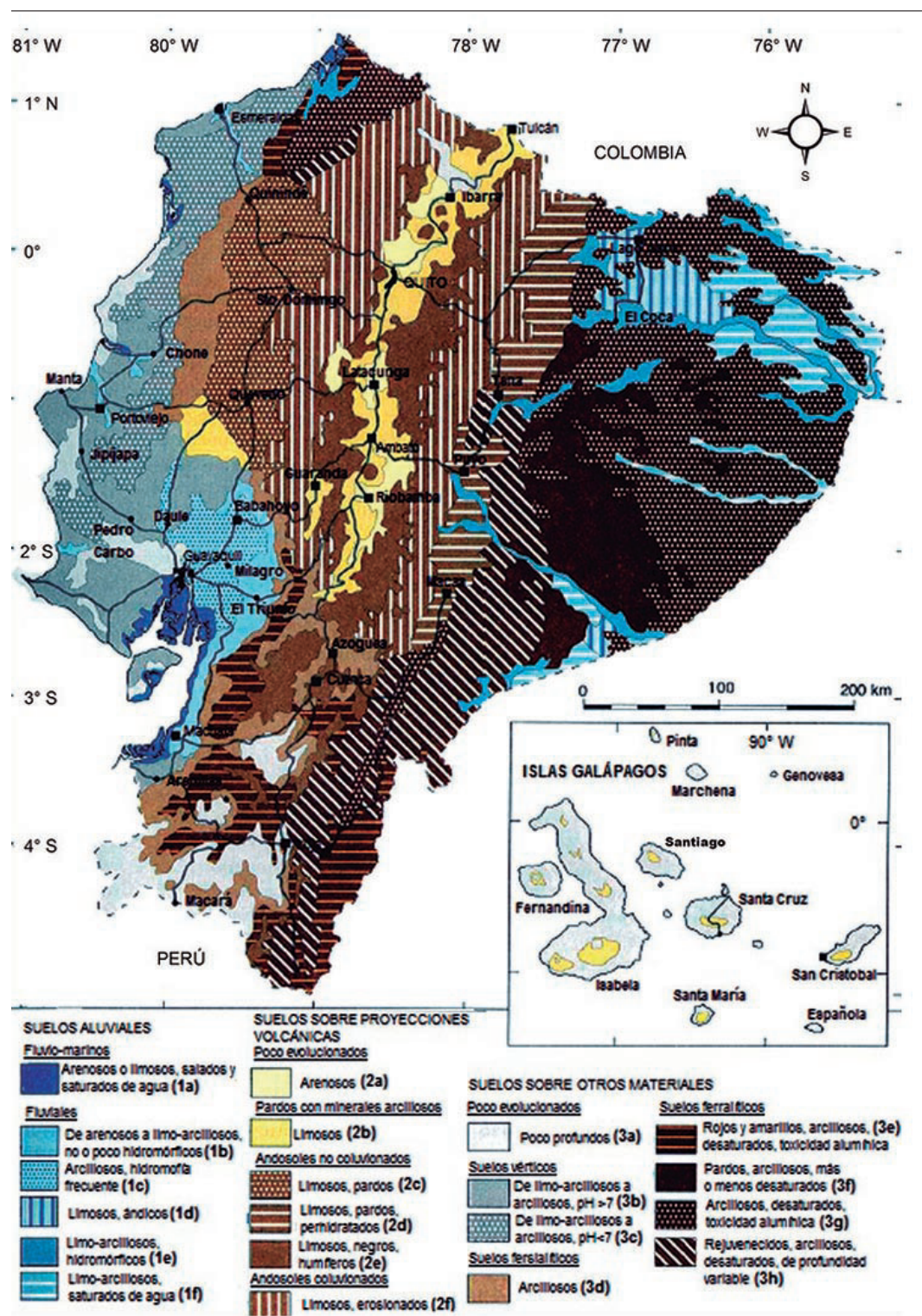


Figura 1.24. Descripción de la pedogénesis y los principales tipos de suelos del Ecuador (Huttel, *et al.*, 1999) (las siglas se mencionan en el Cuadro 1.1)

Cuadro 1.1. Grandes tipos de suelos del Ecuador y sus limitaciones para la agricultura (Huttel, *et al.*, 1999).

Relieve	Suelos	Limitaciones	Sigla
Región Amazónica			
Lomas	Ferralíticos y pseudo-ferralíticos desaturados	Nutrientes escasos, toxicidad de aluminio	3g
Lomas con cobertura de proyección volcánica	Andosoles perhidratados	Nutrientes escasos	2d
Mesa disectada	Pardos ferralíticos	Nutrientes escasos, toxicidad de aluminio localizada	3f
Lomas con pendientes fuertes	Ferralíticos rejuvenecidos	Pendientes fuertes, nutrientes escasos y toxicidad de aluminio	3e-3h
Llanura aluvial	Aluviales ándicos	Nutrientes escasos	1d
Aluviones fluviales	Hidromórficos	Exceso de agua	1e
	Hidromórficos orgánicos	Agua permanente	1f
Región Sierra			
Zona septentrional con proyecciones volcánicas			
Vertientes exteriores	Andosoles erosionados y coluvionados	Suelos heterogéneos, pendientes muy fuertes	2f
Vertientes y cuencas intraandinas	Pardos, limosos	Pendientes fuertes	2b
	Arenosos	Deficiencia de materia orgánica y de reservas de agua	2a
Zona meridional sin proyecciones volcánicas			
Vertientes exteriores orientales	Ferralíticos rejuvenecidos	Suelos heterogéneos, nutrientes escasos, toxicidad de aluminio, pendientes muy fuertes	3h
Vertientes exteriores occidentales, cuencas y vertientes intra-andinas			
	Ferralíticos	Nutrientes escasos, toxicidad de aluminio, pendientes fuertes	3e
	Fersilalíticos	Pendientes fuertes	3d
	Vérticos	pH alcalino	3b
	Poco evolucionados erosionados	Suelos poco profundos	3a
Páramos (altitud superior a los 3 800 m s.n.m.)			
	Negros, humíferos	Temperatura baja	2a
Región Costa			
Lomas y mesas	Ferralíticos rojos y amarillos	Nutrientes escasos, toxicidad de aluminio, pendientes fuertes	3e
	Ferralíticos rejuvenecidos	Nutrientes escasos, toxicidad de aluminio	3h
	Ferralíticos y pseudo-ferralíticos	Nutrientes escasos, toxicidad de aluminio	3g
	Fersilalíticos	Pendientes fuertes	3d
	Pardos, vérticos	Pendientes fuertes	3c
	Poco evolucionados	Suelos poco profundos	3a
Lomas de pendientes débiles	Vérticos	pH fuerte	3b
Llanuras con cobertura de proyecciones volcánicas	Andosoles	Sin limitaciones	2c
	Suelos pardos	Sin limitaciones	2b
Llanuras sin cobertura de proyecciones volcánicas	Vérticos	pH fuerte	3b
Llanura aluvial	Aluviales arenosos y limosos	Textura gruesa	1b
	Aluviales arcillosos	Textura fina	1c
	Hidromórficos	Exceso de agua	1e
Aluviones fluvio-marinos	Salados	Agua permanente y sal	1a
Región Insular			
Volcanes de pendientes fuertes	Poco evolucionados	Suelos superficiales	3a
	Andosoles y suelos ferralíticos	Suelos poco profundos	2c-3d

Los suelos aluviales se formaron sobre materiales sedimentarios recientes y pertenecen a dos medios bien distintos: el medio fluvio-marino y el medio fluvial.

Los suelos del medio fluvio-marino están localizados en las playas, en los cordones litorales y en los manglares, con suelos francos o franco-arcillosos saturados de agua y salinos. En esta clasificación también se encuentran los suelos de la sección posterior del manglar ubicados en zonas emergidas, sin vegetación por el alto contenido de sales y que se utilizan para la construcción de camaroneras.

Los suelos del medio fluvial pueden ser: a) suelos fluviales minerales, en su mayoría suelos aluviales de la región Costa y una gran parte de los suelos de la Amazonía, divididos en conjuntos dependiendo del grado de saturación del complejo de intercambio y de la textura; o b) suelos fluviales orgánicos, ubicados en zonas deprimidas, principalmente en la Amazonía, donde el humedecimiento constante de los perfiles permite la acumulación de restos vegetales parcialmente descompuestos, es decir, son suelos hidromórficos orgánicos, raramente minerales y con gley, donde el horizonte orgánico está constituido por materiales fibrosos de espesor considerable (hasta 2 m), muy ácido ($\text{pH} \approx 4.5$), pobre en bases y desaturado (5 %), y los horizontes minerales más profundos son gleyificados, francos o franco-arcillosos, fluidos o plásticos, moderadamente ácidos ($\text{pH} \approx 5.7$), ricos en bases y saturados (50-90 %).

1.8.2. Suelos sobre cenizas volcánicas

Estos suelos ocupan más del 30 % del territorio del Ecuador y son importantes desde el punto de vista agronómico. Son muy diversos y van desde el nivel del mar hasta los 5 000 m s. n. m. La diversidad de sus características se debe a la variedad de climas bajo los cuales se desarrollaron y su pedogénesis depende de la naturaleza y edad de los materiales de los que se formaron. Se considera que la totalidad de las cenizas a partir de las cuales se formaron los suelos actuales tienen una edad entre 2 600 y 1 600 años, calculada con base a las fases de erupción de los volcanes (Zebrowski and Sourdat, 1997).

Dentro de estos suelos se encuentran aquellos formados sobre los materiales provenientes de las emisiones volcánicas. En la Sierra se presentan como depósitos de lapilli de espesor considerable. En las regiones más elevadas de los Andes, los suelos derivados de cenizas han desaparecido por la erosión glaciaria, en especial la de la última glaciación. En algunas regiones secas de las cuencas interandinas, la erosión de las cenizas recientes permite ver los antiguos depósitos que ocurren en forma de capas cementadas, conocidas como cangahuas.

Las cenizas recientes cubrieron las cenizas antiguas, pero además también cubrieron las zonas donde éstas se erosionaron por causa de los glaciares. El espesor de los depósitos de ceniza disminuye en dirección al sur conforme desaparece la presencia de volcanes que tuvieron actividad. Al sur de Azogues solo se encuentra ceniza en los páramos, mientras que la que se depositó en las cuencas más secas se han perdido por erosión. Los suelos de Zaruma son prueba de la gran extensión original de las cenizas.

En ciertos lugares de la Costa, como en Quinindé, los suelos desarrollados sobre cenizas recientes alcanzan espesores de alrededor de un metro, mientras las capas inferiores, formadas de cenizas antiguas, tienen aproximadamente 10 m de profundidad. Estos suelos se ubican en relieves ligeramente ondulados. Al Oeste, donde el relieve es más pronunciado, los suelos desarrollados a partir de las cenizas se han perdido por erosión y solo existen algunos vestigios en partes protegidas. La ceniza disminuye en dirección al Sur y en Balzar alcanza solamente un espesor aproximado de 30 cm.

En la vertiente Amazónica, la gran alteración de las cenizas debido al clima severo no permite diferenciar las cenizas antiguas de las recientes.

1.8.3. Suelos sobre rocas antiguas

Estos suelos cubren aproximadamente el 60-70 % del Ecuador continental y forman la mayor parte de la Amazonía peri-andina, la Costa y el tercio meridional de la Sierra. Entre las rocas antiguas se encuentran rocas bastante diferentes clasificadas como sedimentarias, metamórficas y eruptivas. La variedad de suelos desarrollados sobre rocas antiguas se explica por la diversidad de las condiciones pedogenéticas, producto de los diferentes climas, roca madre y condiciones topográficas. El clima, con las variaciones de temperatura y precipitación debidas a la altitud, es el principal factor que promovió la presencia de la diversidad de suelos de estas regiones del país.

1.9. Referencias Bibliográficas

- Acosta Solís, M. 1965. Los recursos naturales del Ecuador y su conservación. 1era. parte. Imprenta Popular. Mexico D.F., Mexico.
- Acosta Solís, M. 1977. Ecología y fitoecología. Editorial Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito, Ecuador.
- Apsden, J., M. Litherland y H. Salazar. 1988. Caracterización ambiental de la cuenca del río Paute. Estudio de Impacto Ambiental Definitivo Ex - post de la Subestación Eléctrica Cuenca. INECEL. Cuenca, Ecuador.
- ARCONEL. 2019. Balance nacional de energía eléctrica. Agencia de Regulación y Control de Electricidad. ARCONEL. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/2FysWKM>
- Bornemiza, E. y A. Alvarado (ed). 1974. Manejo del suelo en América tropical. University Consortium on Soils of the Tropics, Centro Internacional de Agricultura Tropical, US Agency for International Development, Sociedad Colombia de la Ciencia del Suelo, Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo. Cali, Colombia. . <http://bit.ly/36wEASm>
- Cañadas, L. 1983. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Editores Asociados. Quito, Ecuador.
- CLIRSEN. 1979. Evaluación preliminar de la información recopilada sobre los recursos edafológicos. CLIRSEN. Quito - Ecuador.
- Collot, J., F. Michaud, A. Alvarado, B. Marcaillou, M. Sosson, G. Ratzov, *et al.* 2009. Visión general de la morfología submarina del margen convergente de Ecuador-Sur de Colombia: implicaciones sobre la transferencia de masa y la edad de la subducción de la Cordillera de Carnegie. En: Comisión Nacional del Derecho del Mar (CNDM) (ed). Geología y geofísica marina y terrestre del Ecuador desde la costa continental hasta las islas Galápagos. CNDM-IRD-INOCAR. Guayaquil, Ecuador. <http://bit.ly/2mnFmii>
- Dahlgren, R., M. Saigusa and F. Ugolini. 2004. The nature, properties and management of volcanic soils. *Advances in Agronomy* 82: 113-182.
- FLACSO, MAE y PNUMA. 2008. Geo Ecuador 2008: Informe sobre el estado del medio ambiente. FLACSO - MAE - PNUMA. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/37K2WYX>
- Frei, E. 1958. Eine studie über den Zusammenhang zwischen Bodentyp, Klima und Vegetation in Ecuador. *Plant and Soil* 9(3): 215-236. <https://doi.org/10.1007/bf01394152>
- Gardi, C., M. Angelini, S. Barceló, J. Comerma, C. Cruz Gaistardo, A. Encina Rojas, *et al.* (ed). 2014. Atlas de Suelos de América Latina y El Caribe. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. Luxembourg. <http://bit.ly/2ut6OPJ>
- González, A. 2015. Apuntes personales. Quito, Ecuador.
- González, A., F. Maldonado y L. Mejía. 1986. Memoria Explicativa Mapa Suelos del Ecuador. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Quito, Ecuador.

- Huttel, C. 1997. Las grandes regiones climáticas y sus formaciones vegetales naturales En: A. Winckell, R. Marocco, T. Winter, C. Huttel, P. Pourrut, C. Zebronski y M. Sourdat (eds). Paisajes naturales del Ecuador: las condiciones generales del medio natural. CEDIG - IPGH - IRD - IGM. Quito. <https://bit.ly/2m3acfj>
- 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. 2019. Geovisualizador Instituto Geográfico Militar. Mosaico de Geopedología 1:25.000. Disponible en <https://bit.ly/2lTzM6Z>
- IRD. 2019. Sphaera: Les cartes produites par l'IRD:Équateur. Institut de Recherche pour le Développement. IRD. Marseille, France. <http://bit.ly/2ZTGIB7>
- León, J. 2010. Manual de geografía del Ecuador. Universidad Andina Simón Bolívar, sede Ecuador - Corporación Editora Nacional. Quito Ecuador.
- MAG. 2019. Geoportal del Ministerio de Agricultura y Ganadería. Disponible en <http://bit.ly/2umR2Wl>
- Marocco, R. y T. Winter. 1997. Bosquejo de la evolución geodinámica del Ecuador. En: A. Winckell, C. Zebronski y M. Sourdat (eds). Los paisajes naturales del Ecuador. Volumen 1: Las condiciones generales del medio natural. CEDIG-IPGH-IRD-IGM. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/37J7Sgv>
- Mejía, L. 1997. Suelos del Ecuador: Reconocimiento general en base a su capacidad-fertilidad y mapageneral 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.
- Miller, E. 1959. Agricultural Ecuador. Geographical Review 49(2): 183-207. <https://doi.org/10.2307/211984>
- Naranjo, P. 1981. El clima del Ecuador Editorial Casa de la Cultura Ecuatoriana. Quito, Ecuador.
- Ortiz, S., V. Loayza y G. Albán. 2010. Gestión de datos edáficos en la cuenca baja del río Guayas con la implementación de un Sistema de Administración de Geoinformación -SAG. En: J. Espinosa (ed). XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo: El suelo como factor de mitigación del cambio climático. Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo. Santo Domingo, Ecuador. <http://bit.ly/36nEZ9A>
- Pacheco, R. 2009. El Ecuador: Recursos naturales agrícolas y del medio ambiente. Imprenta Colón. Quito, Ecuador.
- Parfitt, R. and B. Clayden. 1991. Andisols—the development of a new order in soil taxonomy. Geoderma 49(3-4): 181-198. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(91\)90075-5](https://doi.org/10.1016/0016-7061(91)90075-5)
- Patzelt, E. y M. Echeverría. 1985. Flora del Ecuador. Banco Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Portais, M. 1997. Un ejemplo de geografía aplicada: el inventario de los recursos naturales renovables y la regionalización de la planificación agrícola en Ecuador. Revista Geográfica 9: 19-25.
- Pourrut, P. 1983. Climas del Ecuador. Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/35zG10P>
- Pourrut, P. 1997. Características hidrográficas e hidrológicas de los grandes ámbitos morfoclimáticos del Ecuador. En: A. Winckell, R. Marocco, T. Winter, C. Huttel, P. Pourrut, C. Zebronski y M. Sourdat (eds). Los paisajes naturales del Ecuador. Volumen 1: Las condiciones generales del medio natural. CEDIG-PGH-IRD. Quito, Ecuador. <http://bit.ly/307bQgn>
- Sarmiento, G. 1987. Los principales gradientes ecoclimáticos en los Andes tropicales. In: IV Congreso Latinoamericano de Botánica. Medellín, Colombia.

- Shoji, S., M. Nanzyo and R. Dahlgren. 1993. Volcanic ash soils: genesis, properties and utilization. Amsterdam. Elsevier Science Publishers. The Netherlands. <http://bit.ly/37KSKzr>
- Soil Survey Staff. 1975. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Agricultural Handbook N° 436. Soil Conservation Service, US Department of Agriculture. Washington DC, USA. <http://bit.ly/2T163rd>
- Soil Survey Staff. 1990. Keys to soil taxonomy. SMSS Technical Monograph N° 6. Fourth ed. Virginia Polytechnic Institute. Blacksburg, USA. <http://bit.ly/36vj6oT>
- Takahashi, T. and S. Shoji. 2002. Distribution and classification of volcanic ash soils. Global Environmental Research 6(2): 83-98. <https://go.nasa.gov/2T114Hd>
- Winckell, A. 1997. Los paisajes de las Islas Galápagos. En: A. Winckell, C. Zebrowski y M. Sourdat (eds). Los paisajes naturales del Ecuador: Las regiones y paisajes del Ecuador. CEDIG-IPGH-IRD. Quito.
- 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. 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>

SUELOS DEL ECUADOR CLASIFICACIÓN, USO Y MANEJO



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

Síguenos en:



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

