

Análisis de la edafo-climotoposecuencia y su influencia en la distribución de los suelos de la subcuenca del río Mira-Ecuador

Recibido 21 de junio de 2019 // Aceptado
09 de enero de 2020 // Publicado
online 25 de agosto de 2021

Chalco, I.¹; Haro, R.¹; Andrade, L.¹; Díaz, N.¹; Reyes, D.¹; Villarreal, W.¹; Gómez, E.¹; Díaz, D.¹; Yerovi, F.¹

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar mediante un análisis de la edafo-climotoposecuencia la distribución de los suelos en la subcuenca del río Mira, utilizando geoinformación (geomorfología, suelos, cobertura de las tierras), generada por el Instituto Espacial Ecuatoriano y SIGTIERRAS, y utilizando un Sistema de Información Geográfica para el procesamiento de los datos. Mediante el enfoque analítico, se elaboró el mapa geopedológico, determinando 16 unidades de paisaje producto de la agrupación de factores formadores del suelo. La ceniza volcánica es el material del cual se han desarrollado los suelos y dependiendo de su altitud presentan diferentes características: en zonas altas (>3200 m s. n. m.) presentan la mayor acumulación de materia orgánica (confiriendo coloraciones oscuras); en zonas intermedias (1600 a 3200 m s. n. m.) se pueden observar suelos con mayor evolución pedogenética, meteorización de arcillas, ricos en materia orgánica, de color pardo oscuro y elevada saturación de bases; y en zonas bajas (<1600 m s. n. m.) presentan características como alta retención de humedad, baja saturación de bases, pH bajo y riesgos de toxicidad por aluminio. Taxonomicamente, a nivel de orden, dominaron los Andisols con el 45% de ocupación del área total (5356,74 km²), seguidos de los Mollisols con el 25%. En conclusión, se determinó que la distribución de los suelos se ve influenciada por el clima representado por los regímenes de temperatura del suelo (isofrígido, isomésico, isotérmico e isohipertérmico) y los regímenes de humedad del suelo (perúdic, údic y ústico) sobre el material de partida (ceniza volcánica).

Palabras clave: enfoque analítico, factores formadores, geopedología, SIG, unidad de paisaje.

ABSTRACT

The objective of the study was to determine by an analysis of the edapho-weather-toposequence the distribution of soils in the subwatershed of the River Mira, using Geoinformation (geomorphology, soils, land cover), generated by the Space Institute of Ecuador and SIGTIERRAS, and using a geographic information system for processing the data. Using the analytical approach, the geopedological map was elaborated, determining 16 landscape units product of the grouping of factors forming the soil. Soils have been originated from volcanic ash material and depending on their altitude they have different characteristics: in high areas (> 3 200 m A.S.L.), they present the bigger accumulation of organic matter (conferring dark coloration); In intermediate zones (1 600 to 3 200 m A.S.L.), soils with larger pedogenetic evolution, meteorization of clays, rich in organic matter, dark brown color and high saturation of bases can be observed; And in low areas (< 1 600 m A.S.L.), they present characteristics such as high moisture retention, low saturation of bases, low pH and risks of toxicity by aluminum. Taxonomically, considering the different level of order, dominated the Andisols with the 45 % occupancy of the total area (5 356,74 km²), followed by the Mollisols with 25%. In conclusion the soil distribution is influenced by the climate -represented by the soil temperature regimes (Isofrige, Isomesic, isothermic and Isohyperthermic) and soil moisture regimens (Peruvian, Udic and Ustic)- , on the starting material (volcanic ash).

Keywords: analytical approach, Trainer factors, geopedological, GIS, Landscape unit.

¹Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Av. Carlos V N.º Oe5-61 y Av. de la Prensa, Quito, Ecuador.

Correos electrónicos: Irene_chalco@hotmail.com; renoharo@hotmail.com; andradebluis@gmail.com; natalidiaz@gmail.com; nicozrs1@hotmail.com; luiswla@hotmail.com; elygoomez86@hotmail.com; jddtdario@hotmail.com; patoyerovi@gmail.com

INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas al ser grandes espacios del territorio conformadas por un sistema hídrico dan lugar a una diversidad de paisajes (Sánchez *et al.*, 2003), sin embargo, la presión demográfica para la construcción de nuevos asentamientos humanos y sistemas agrícolas han reducido considerablemente la calidad y aporte de los productos generados en estos ecosistemas (CEPAL, 2007), por lo que la preservación de estos territorios asegura a la sociedad bienes y servicios que incluyen el suministro de agua limpia, contención de la erosión, fijación del carbono, conservación de suelos y mantenimiento de la biodiversidad del paisaje (FAO, 2007).

El reconocimiento integral, caracterización y evaluación de elementos ambientales y bióticos del paisaje permiten entender la relación que existe entre este con las características y propiedades de los suelos (Zonneveld, 1989); dicho reconocimiento es posible mediante el análisis de su edafo-climo-toposecuencia, el cual aporta con información confiable sobre las interrelaciones y procesos que determinan la dinámica y estado de los sistemas naturales y la diversidad de los suelos (Gobin *et al.*, 1998; López, 2003).

La subcuenca del río Mira es considerada una de las más importantes subcuencas del Ecuador (INAMHI, 2005), debido a que presenta la mayor variabilidad topográfica y climática; alberga una población de aproximadamente 522732 habitantes, cuya actividad principal está relacionada con la

agricultura, ganadería, silvicultura y pesca (IEE, 2013a; INEC, 2017). Esta subcuenca es parte de la región biogeográfica del Chocó, reconocida como la de mayor biodiversidad en la región, así como uno de los ecosistemas más afectados en toda la sierra norte ecuatoriana, por lo que es importante su reconocimiento y conservación (Myers *et al.*, 2000; Ramsay y Oxley, 2001).

El objetivo principal de esta investigación fue hallar la relación que existe entre los suelos, topografía y el clima (edafo-climo-toposecuencia) mediante el análisis paisajístico de la subcuenca del río Mira. Para ello se elaboró un mapa geopedológico, utilizando geoinformación referente a geomorfología (génesis, litología, depósitos superficiales, geofoma y pendiente); uso y cobertura de la tierra e información de suelos descrita en perfiles generados por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y SIGTIERRAS en el año 2014. Se realizó la caracterización climática de la subcuenca, determinando cuatro categorías para regímenes de temperatura del suelo (isofrígido, isomésico, isotérmico e isohipertérmico) y tres para regímenes de humedad (perúdicico, údicico y ústico), presentando alta heterogeneidad climática debido a su extensión. La caracterización edafológica fue realizada acorde al análisis de los elementos ambientales y bióticos (Gobin *et al.*, 2000), con base en la metodología de ecología del paisaje (Zonneveld, 1989), utilizando como base conceptual la interrelación de los factores formadores del suelo (Jenny, 1994).

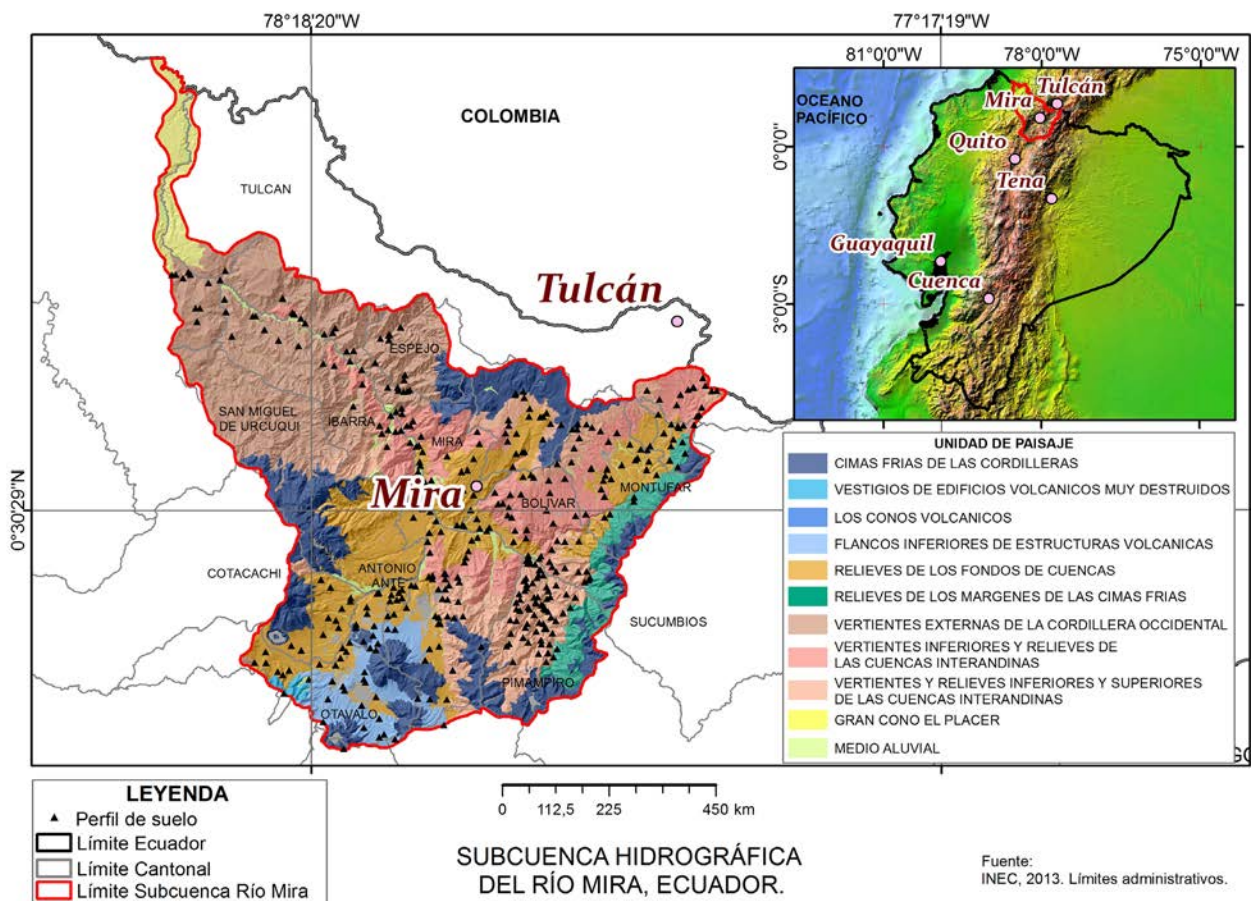


Figura 1. Ubicación del área de estudio y perfiles de suelo respecto al Ecuador continental.
Fuente: Elaboración propia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

La subcuenca del río Mira se ubica al norte del Ecuador (fig. 1), ocupa una superficie aproximada de 5356,74 km² y abarca geográficamente 3 provincias: Carchi, Esmeraldas e Imbabura, con altitudes que van desde los 500 hasta los 5000 m s. n. m., temperaturas que oscilan entre 8 a 24 °C y precipitaciones de 500 a 3000 mm al año.

Metodología

El análisis y generación del mapa geopedológico de la subcuenca del río Mira parte de la recopilación de la geoinformación generada por el IEE y SIGTIERRAS, las cuales mediante el proceso de fotointerpretación obtuvieron información geomorfológica (variables morfológicas y morfométricas) y cobertura vegetal (IEE, 2015) que sirvió como insumo para el levantamiento y descripción de 394 perfiles de suelos (dentro de 14 cantones que conforman la subcuenca), en los que se realizaron caracterizaciones fisicoquímicas para obtener una clasificación taxonómica de suelos a nivel de subgrupo (Soil Survey Staff, 2006).

Elaboración del mapa de suelos mediante el análisis geopedológico

Para la elaboración del mapa de suelos se utilizó el enfoque geo-pedológico, que combina criterios geomorfológicos y pedológicos para establecer unidades de paisaje (Zinck, 2012), las cuales comprenden tierras ecológicamente semejantes de atributos como forma de relieve, suelo y vegetación (Zonneveld, 1989), reflejando la distribución de los suelos en el paisaje así como su formación, que se encuentra basada en una serie de factores ambientales: material parental (litología), relieve (pendiente y formas de la tierra), clima (regímenes de temperatura y humedad del suelo), organismos (cobertura vegetal), durante un período (Jenny, 1994; Dudal, 2004; Boul et al., 2011).

Procesamiento de la información (factores formadores de suelo)

A partir de los resultados obtenidos de la fotointerpretación geomorfológica (Herrero, 1993) del área de estudio, la cual aporta con información referente a génesis, litología, geoforma y pendiente (Zinck, 2012) se inicia la caracterización edafológica, para ello, se determinaron los regímenes de tempe-



Figura 2. Distribución de suelos de la subcuenca del río Mira.

Fuente: Elaboración propia.

Unidad de paisaje	Clima		Cobertura vegetal	Procesos pedogenéticos	Suelos dominantes	Superficie	
	RTS	RHS				ha	%
Cimas frías de las cordilleras de estructuras volcánicas (3400 a 4000 m s. n. m.)	Isofrígido		Páramo, bosque nativo, vegetación arbustiva	Andolización, melanización, humificación	Haplocryands Melanocryands	223,44	4,17
Cimas frías de las cordilleras de formas heredadas paleoglaciacares (3400 a 3800 m s. n. m.)			Páramo, bosque nativo, vegetación arbustiva	Andolización, melanización, humificación		410,32	7,66
Vestigios de edificios volcánicos muy destruidos (3300 a 3700 m s. n. m.)	Isomésico	Údico	Bosque nativo, pastizal	Andolización, melanización, humificación	Hapludands Melanudands	17,27	0,32
Relieves de los márgenes de las cimas frías (3000 a 3600 m s. n. m.)				Páramo, bosque nativo, pastizal, vegetación arbustiva, cultivo	Andolización, melanización, humificación	Hapludands Melanudands Hapludolls	178,50
Flancos inferiores de estructuras volcánicas (2200 a 3800 m s. n. m.)	Isotérmico		Páramo, Bosque nativo, pastizal, mosaico agropecuario, cultivo, infraestructura antrópica	Andolización, melanización, humificación, endurecimiento	Dystrudepts Hapludands Hapludolls Durudepts	259,12	4,84
Vertientes y Relieves Superiores de las Cuencas Interandinas sobre volcanismo de la sierra norte (2000 a 3600 m s. n. m.)	Isomésico		Páramo, bosque nativo, cultivo, mosaico agropecuario, pastizal, plantación forestal, vegetación arbustiva y herbácea, área poblada	Andolización, melanización, humificación, endurecimiento, mineralización	Melanudands Hapludands Hapludolls	818,23	15,27
	Isotérmico				Haplustolls Durustolls Durudepts		
Vertientes y relieves inferiores de las cuencas interandinas sobre volcanismo de la sierra norte (1800 a 2700 m s. n. m.)	Isohipertérmico	Ústico	Cultivo, vegetación herbácea, área poblada	Andolización, endurecimiento, mineralización	Hapludands Durustolls Haplustolls Calciustolls	35,73	0,67
Relieves de fondos de cuencas y valles deprimidos (1500 a 3000 m s. n. m.)	Isotérmico	Údico	Bosque nativo, cultivo, erial/ sin cobertura, vegetación arbustiva y herbácea, infraestructura antrópica	Andolización, calcificación, mineralización, endurecimiento	Hapludands Hapludolls	72,53	1,35
	Isohipertérmico	Ústico			Haplustolls Haplustepts Calciustepts Durustepts		
Relieves de los fondos de cuencas con rellenos volcano-sedimentarios (1600 a 2700 m s. n. m.)	Isotérmico	Údico	Bosque nativo, pastizal, cultivo, vegetación arbustiva, mosaico agropecuario, plantación forestal, área poblada	Andolización, calcificación, mineralización, endurecimiento	Hapludands Argiudolls Hapludolls	849,49	15,86
		Ústico			Haplustolls Durustolls Ustorthents		
Relieves de los fondos de cuencas con rellenos lacustres (2400 a 2600 m s. n. m.)	Isotérmico	Údico	Cultivo, pastizal, área poblada	Andolización, mineralización	Hapludolls Hapludands	13,82	0,26
Relieves de los fondos de cuencas y terrazas escalonadas (1200 a 1600 m s. n. m.)	Isohipertérmico	Ústico	Cultivo, vegetación herbácea y arbustiva	Endurecimiento, mineralización	Ustorthents Haplustolls Durustolls Eutrodepts	20,62	0,38

		Údico			Argiudolls		
Vertientes inferiores y relieves de las cuencas interandinas de la sierra norte (1600 a 2800 m s. n. m.)	Isotérmico	Ústico	Bosque nativo, cultivo, mosaico agropecuario, pastizal, vegetación arbustiva y herbácea	Calcificación, mineralización, endurecimiento, iluviación	Calciustolls Haplustolls Durustolls Durusteps	627,54	11,71
		Údico			Eutrudepts		
Relieves de los fondos de las cuencas interandinas (1900 a 2900 m s. n. m.)	Isohipertérmico	Ústico	Cultivo, pastizal, mosaico agropecuario, vegetación herbácea, arbustiva y área poblada	Endurecimiento, mineralización	Haplustolls Durustolls Ustifluvents	145,02	2,71
		Údico			Argiudolls		
Vertientes externas de la cordillera occidental (1600 a 3200 m s. n. m.)	Isotérmico	Údico	Bosque nativo, pastizal, cultivo, mosaico agropecuario, erial/sin cobertura, pastizal, vegetación arbustiva y herbácea	Andolización, lixiviación, iluviación	Argiudolls Eutrudepts Hapludands Dystrudepts	1 301,73	24,3
		Ústico			Argiustolls Ustorthents		
Gran cono del placer (550 a 750 m s. n. m.)		Perúdico	Bosque nativo	Andolización, lixiviación	Hydrudands Hapludands	163,41	3,05
Medio aluvial (200 a 3600 m s. n. m.)	Isohipertérmico	Údico	Bosque nativo, Pastizal, cultivo, Vegetación arbustiva, Mosaico agropecuario, Plantación forestal, área poblada	Andolización lixiviación	Dystrudepts Hapludands	120,66	2,25
		Ústico			Hapludands Hapludolls Ustipsamments Ustifluvents		

Tabla 1. Descripción y análisis de las unidades de paisaje en la subcuenca del río Mira.

Fuente: IEE, 2013a; IEE, 2013b; IEE, 2013c.

ratura y humedad del suelo que fueron obtenidos mediante el procesamiento de los datos de precipitación y temperatura de 27 estaciones meteorológicas (con registros de intensidad de precipitaciones máximas en 24 horas, con períodos de retorno de 100 años) proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI, 2018) utilizando el método superficie móvil, con los parámetros: segundo grado parabólico (como superficie polinomial) e inverso a la distancia (como función de peso), debido a que es el interpolador más adecuado para la producción de modelos geoespaciales, cuando se tienen pocos datos no normalizados (Moreno *et al.*, 2018).

Posteriormente, se realizó el análisis de la cobertura vegetal, considerado como un factor importante en el entendimiento del desarrollo de los suelos, además, provee de información importante sobre las alteraciones producidas por influencias antrópicas en la naturaleza (FAO, 2017). Para el manejo de la información de este factor formador, la CONAGE (2013) agrupó la cobertura vegetal en 9 tipos de coberturas: 1) pastizal; 2) bosque nativo; 3) vegetación arbustiva; 4) vegetación herbácea; 5) plantación forestal; 6) páramo; 7) cultivos; 8) mosaico agropecuario; 9) erial -áreas desprovistas de vegetación, con limitantes edáficas, climáticas, topográficas o antrópicas-, que no son aprovechadas para uso agropecuario o forestal y cuerpos de agua. Esta información, producto de la fotointer-

pretación de fotografía aérea, fue clasificada conforme a los rangos indicados y procesada en formato Raster.

Con la finalidad de caracterizar taxonómicamente a cada unidad de paisaje, se realizó un análisis espacial en el cual se incorporó la información de los perfiles de suelo (en formato .shp) a la base de datos (figura 2), cabe recalcar que dentro del análisis realizado no se tomaron en cuenta zonas como poblados, ríos dobles y eriales, debido a que no son áreas agrícolas. Para aquellas unidades de paisaje, que no poseen información edáfica, se realizó la extrapolación de la información de perfiles de suelo con características edafológicas similares (Rossiter, 2000).

RESULTADOS

La subcuenca del río Mira, por su disposición geográfica, abarca 16 unidades de paisaje, las cuales inician en los 550 m s. n. m. hasta aproximadamente los 5000 m s. n. m. Esta variabilidad altitudinal y ambiental ha ejercido un efecto importante en las características de los suelos, identificando seis órdenes: Andisols (con una superficie de ocupación del 45%), Mollisols (29%), Entisols (16%), Inceptisols (9%), e Histosols (1%) (figura 2).

El material litológico está constituido por depósitos de pie de monte (tobas, ceniza volcánica, fragmentos de rocas angulares y subangulares de composición andesítica y dacítica) producto de la actividad de los volcanes Mangus, Chaquilulo, Imbabura, Yanahurco e Iguan, principalmente.

La cobertura vegetal se encuentra delimitada por tres zonas altitudinales: a) a partir de los 3600 m s. n. m. existe una predominancia de páramo, bosque nativo y vegetación arbustiva; b) bajo los 3600 m s. n. m. se encuentran los cultivos, mosaicos agropecuarios e infraestructuras antrópicas; c) las zonas pobladas y la diversificación de cultivos se localizan bajo los 2700 m s. n. m.

Se determinaron ocho procesos pedogenéticos que dan lugar a las características de los suelos de la subcuenca, influenciados por el factor climático (cuatro categorías en cuanto a regímenes de temperatura y tres categorías para el régimen de humedad del suelo) (tabla 1).

DISCUSIÓN

La ubicación espacial de la subcuenca del río Mira en sentido este-oeste contribuye a esta presente alta diversidad climática y topográfica; tal como se evidencia en estudios realizados por Espín (1993); cuya interacción y variación de factores, en tipo e intensidad, ha resultado en grupos de suelos con diferentes características físicas, químicas y mineralógicas, a pesar de que proviene de un mismo material parental, lo que ha permitido a su vez, la formación de horizontes melánicos, mólicos, úmbricos, cámbicos o argílicos en toda su extensión que se pudo evidenciar en el estudio e interpretación de datos de perfiles levantados en campo por el IEE en el año 2013.

Los suelos ubicados en las zonas altas (> 3200 m s. n. m. de régimen de temperatura isomésico e isofrígido y régimen de humedad údico) se han formado sobre depósitos volcánicos, en climas extremos de alta humedad y frío (Mena *et al.*, 2000); estas condiciones contribuyen a la predominancia de procesos pedogenéticos como andolización y/o melanización donde la acumulación de materia orgánica poco humificada (baja acción bacteriana), favorece a la formación de arcillas amorfas (alófana) y/o compuestos Al-humus, confirmando coloraciones oscuras o negras a estos suelos (Sánchez y Rubiano, 2015; Blanco *et al.*, 2003), presentan densidad aparente menor a 0,9 g/cm³, bien drenados, con alta retención de fosfatos, y tixotrópicos (pasan en horas de aspecto muy mojado a un aspecto seco) con presencia de vidrio volcánico, ácidos, baja saturación de bases y de baja fertilidad (Espinosa *et al.*, 2018; IEE, 2013b). Predominan, a nivel de gran grupo los Haplocryands en las partes de mayor pendiente y Melanocryands en áreas planas. Estos paisajes biofísicos de páramo en su mayoría muestran remanentes de bosque nativo con dominio de la paja de estepa o *Stypa lchu* y vegetación arbustiva (IEE, 2013a; Hofstede, 2002; MAG, 1999; Cañadas, 1983).

Bajo el páramo, a una altitud entre 1700 y 3200 m s. n. m., se localiza el piso isotérmico -13 a 21 °C- (FAO, 2009) con precipitaciones desde los 600 a 1000 mm (en las zonas céntricas de la subcuenca -ústico- y mayores a 1000 mm -údico- en las vertientes que bordean la zona de estudio), (Zebrowski y Zourdat, 1997). En esta zona existe diversidad de suelos a pesar de que provienen de un mismo material parental (ceniza volcánica) debido principalmente a la humedad del suelo (Custode *et al.*, 1999). Se puede observar que en las zonas húmedas predominan los Andisols, debido a la humedad que permite

la meteorización del material parental en alofana, imogolita y halloisita -minerales amorfos de rango corto- (Espinosa, 2008; Mena, 2000; Winckell *et al.*, 1992). En tanto que, en las zonas secas se encuentran, mayoritariamente, los Mollisols los cuales por su baja humedad permite la meteorización de los materiales hacia una síntesis de minerales arcillosos (Winckell *et al.*, 1992). Además, en esta zona se puede evidenciar una alta presión sobre la tierra, por los procesos de degradación (ej. la erosión y la agricultura) que han eliminando los horizontes mólicos o úmbricos que los cubrían, permitiendo el afloramiento de cangahuas (Espinosa *et al.*, 2018; Custode, 1999; Colmet Daage, 1965) dando origen a Inceptisols y Entisols. En ciertas zonas (ej. Mira y Chota) se encontró Aridisols, esto se debe según Hidalgo (1998) y Espinosa *et al.* (2018) a que son zonas con un clima semiárido, cuya formación fitogeográfica corresponde a los bosques secos montano-bajos y a las estepas espinosas montano-bajas. La vegetación predominante en este piso altitudinal responde a bosque nativo, pastizal, mosaico agropecuario, cultivos e infraestructura antrópica.

Descendiendo la cordillera, entre 750 a 1700 m s. n. m. los suelos en esta zona se caracterizan por la presencia de materiales piroclásticos que han sido depositados de forma directa o transportados por erosión eólica y/o hídrica (Custode *et al.*, 1999). Presentan un régimen de temperatura isohiper-térmico y dos regímenes de humedad ústico y údico. El orden Mollisols que predomina en esta zona es poco profundo, de color negro a café oscuro, estructura migajosa y consistencia suave, rico en bases de cambio, desarrollado en zonas con mayor actividad silvopastoril (Espinosa *et al.*, 2018; Custode *et al.*, 1999; Shoji *et al.*, 1993).

En las zonas con régimen de humedad ústico, que se encuentran lejos del tope de las montañas, en las zonas de los valles, predominan los suelos del gran grupo Durustolls, que se han formado a partir de cenizas volcánicas endurecidas (cangahua), de origen presumiblemente eólico, producto de períodos de intenso vulcanismo, con alta acumulación de carbonatos de calcio y una mezcla de arcillas silicatadas y silicatos amorfos, los cuales ocasionaron su cementación (Zebrowski *et al.*, 1996). Por un lado, los suelos son poco profundos, pobres en materia orgánica, y cuya erosión ha permitido el afloramiento de la cangahua (Espinosa *et al.*, 2018; Zapata, 2002; Custode *et al.*, 1999; Zebrowski *et al.*, 1996; Zebrowski *et al.*, 1991; Mothes, 1991; Creutzberg, 1990). Por otro lado, en las zonas de relieve cuya inclinación es ligera a moderada, con régimen de humedad údico, predominan los suelos del gran grupo Arguidols, cuyo proceso formador principal es la iluviación responsable de la formación del horizonte Bt (horizontes ricos en arcillas), de pH ligeramente ácido a neutro y saturación de bases mayor al 50% (Espinosa *et al.*, 2018; Zapata, 2002; Winckell, 1997; Custode *et al.*, 1999; MAG, 1999). Este paisaje biofísico presenta bosque nativo, pastizal, cultivo, vegetación arbustiva y herbácea (IEE, 2013a).

Los suelos ubicados en las zonas bajas de la subcuenca (< 750 m s. n. m.), con precipitaciones mayores a los 4000 mm (régimen de humedad perúdicico), área conocida como el Gran Cono del Placer (Zebrowski y Zourdat, 1997), sufren procesos de lixiviación en donde las sustancias solubles son desplazadas por el movimiento del agua en el suelo (Schaeztl y Anderson, 2005) dando como resultado a Andisols desaturados y perhidratados (Winckell, 1997) estos suelos se caracterizan por tener coloraciones pardo amarillentas con densidad aparente menor a 0,9 g/cm³, baja saturación de bases, ricos en

potasio y bajos en fósforo aprovechable, debido a que este elemento forma complejos insolubles, inaccesibles para las plantas, pH ácidos y riesgo de toxicidad por aluminio. Predominan, a nivel de gran grupo los Hydudands capacidad de retención de agua > 100% (Espinosa *et al.*, 2018; Soil Survey Staff, 2006; Custode *et al.*, 1999; MAG, 1999). Este paisaje biofísico presenta cultivos de ciclo corto, frutales, bosque húmedo poco alterado y pasto cultivado, sobre todo para ganadería, con presencia de árboles (IEE, 2013a).

CONCLUSIONES

La subcuenca del río Mira se distribuye en 16 unidades de paisaje distribuidas desde los 550 hasta aproximadamente los 5000 m s. n. m.; encontrándose cuatro categorías de régimen de temperatura del suelo (isofrígido, isomésico, isotérmico e isohipertérmico) y tres categorías para régimen de humedad del suelo (perúdicico, údicico y ústico).

Los cambios de la cobertura vegetal son muy notables desde las zonas más altas donde se encuentra la vegetación propia de páramos, con mosaicos agropecuarios en las zonas intermedias, y pastizales y/o plantaciones forestales hacia las zonas bajas.

En el área de estudio se identificaron seis órdenes de suelos, predominando los Andisols (zonas údicicas y Perúdicicas) y Molisols (zonas ústicas).

La variabilidad de suelos en la subcuenca del río Mira y su desarrollo está relacionada con el factor clima y a su localización en el paisaje, como se puede observar en el caso de los Andisols, los cuales se han desarrollado a partir de cenizas volcánicas, bajo similares procesos pedogenéticos (andolización y/o melanización), sin embargo presentan diferentes características con la variación de la altura y/o temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

- BLANCO, M.; AMIOTTI, N.; RUIZ, J. 2003. Reconstrucción de la evolución geo-pedogenética en una toposecuencia del sudoeste pampeano. *Ciencia del suelo*, 21(2):59-70. (Disponible: <https://bit.ly/2WytO3l> verificado: 10 de marzo de 2019).
- BOUL, S.; SOUTHARD, R.; GRAHAM, R.; MCDANIEL, P. 2011. *Soil genesis and classification*. 6.ª ed. Wiley – Blackwell. Iowa, Estados Unidos. 635 p.
- CAÑADAS, L. 1983. *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. Banco Central del Ecuador. Quito, Ecuador. 210 p.
- CEPAL. 2007. *Agua para el siglo XXI para América del Sur de la visión a la acción*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Quito, Ecuador. 88 p. (Disponible: <https://bit.ly/2JJzRol> verificado: 10 de marzo de 2019).
- CONAGE. 2013. *Catálogo de objetos geográfico versión 2*. Consejo Nacional de Geoinformática. 466 p. (Disponible: <http://bit.ly/2RcWBOD> verificado: 20 de marzo de 2019).
- COLMET, F.; GAUTHEYROU, J.; GAUTHEYROU, M.; CUCALÓN, F.; MOREAU, B. 1965. *Características de los suelos del Ecuador*. ORSTOM - Centro de las Antillas. París, Francia. 98 p. (Disponible: <http://bit.ly/2Wj3Lkj> verificado: 20 de marzo de 2019).
- CREUTZBERG, D.; KAUFFMAN, J.; BRIDGES, E.; DEL POSSO, M. 1990. Micromorfología de "Cangahuas", a cemented subsurface horizon in soils from Ecuador. *Developments in Soil Science*. 19, 367-372. doi: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(08\)70349-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(08)70349-0)
- CUSTODE, E.; TRUJILLO, G.; VALAREZO, C.; VOOPE, A. 1999. *La degradación del suelo y los cambios históricos*. Consorcio CAMAREN. Quito, Ecuador. 111 p.
- DUDAL, R. 2004. The sixth factor of soil formation. *Eurasian Soil Science C/C of Pochvovedenie*, 38:1-13. (Disponible: <http://bit.ly/2R7eazo> verificado: 30 de enero de 2019).
- ESPÍN, J. 1993. *Campesinos del Mira y del Chanchán*. Abya Yala-PUCE. Quito, Ecuador.
- ESPINOSA, J. 2008. Distribución, uso y manejo de los suelos de la región Andina. xi Congreso Ecuatoriano de la ciencia del suelo. Quito, Ecuador. 45 p. (Disponible: <https://bit.ly/2WytG8s> verificado: 15 de abril de 2019).
- ESPINOSA, J.; MORENO, J.; BERNAL, G. 2018. *The Soils of Ecuador*. Editorial Springer. Madison, EE. UU. 167 p.
- FAO. 2007. *La nueva generación de programas y proyectos de cuencas hidrográficas*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia. 154 p. (Disponible: <http://bit.ly/2la1HIG> verificado: 02 de junio de 2019).
- FAO. 2009. *Guía para la descripción de suelos*. 4.ª ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 111 p. (Disponible: <https://bit.ly/2Z9vUOt> verificado: 25 de enero de 2019).
- GOBIN, A.; CAMPLING, P.; DECKERS, J.; FEYEN, J. 2000. Integrated Toposequence Analyses to combine local and scientific knowledge systems. *Geoderma* 97 (1): 103-123.
- HIDALGO, F. 1998. *Los antiguos paisajes forestales del Ecuador, una construcción de sus primitivos ecosistemas*. Ediciones ABYA-YALA. Quito-Ecuador. 110 p.
- HERRERO, M. 1993. *Aplicación de la Teledetección y el método cartográfico en el estudio geomorfoestructural de un área de zócalo cristalino "La Sierra de Avila"*. Anales de Geografía de la Universidad Complutense, 13, 31-68. (Disponible: <https://bit.ly/2v8gLIH> verificado: 10 de febrero de 2019).
- HOFSTEDE, R.; COPPUS, R.; VÁSCONEZ, P.M.; SEGARRA, P.; WOLF, J.; SEVINK, J. 2002. El estado de conservación de los páramos de pajonal en el Ecuador. *Ecotropicos*, 15 (1), 3-18. (Disponible: <https://bit.ly/2XDKMDj> verificado: 16 de marzo de 2019).
- IEE. 2013a. *Memoria técnica sistemas productivos del cantón Mira*. Instituto Espacial Ecuatoriano. 90 p. (Disponible: <http://bit.ly/2WDIPdS> verificado: 23 de marzo de 2019).
- IEE. 2013b. *Memoria técnica Geopedología del cantón Mira*. Instituto Espacial Ecuatoriano, Quito, Ecuador. 127 p. (Disponible: <http://bit.ly/2i8SobF> verificado: 23 de marzo de 2019).
- IEE. 2013c. *Memoria técnica de geomorfología del cantón Mira*. Instituto Espacial Ecuatoriano. 59 p. (Disponible: <http://bit.ly/31rODpC> verificado: 23 de marzo de 2019).
- IEE. 2015. *Memoria técnica de Capacidad de Uso de las Tierras del cantón Tulcán*. Instituto Espacial Ecuatoriano. 46 p. (Disponible: <http://bit.ly/2ZoWe6B> verificado: 23 de marzo de 2019).
- INAMHI. 2005. *Estudio Hidrológico del Río Mira*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, Quito, Ecuador. (Disponible: <https://bit.ly/2W8OyYI> verificado: 17 de mayo de 2019).
- INAMHI. 2018. *Datos mensuales y diarios de precipitación, temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa desde 1980 a 2016 de las estaciones a nivel nacional*. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Quito, Ecuador. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- INEC. 2017. *Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo*. ENEMDU. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Quito, Ecuador. (Disponible: <http://bit.ly/2XJA9ze> verificado: 28 de marzo de 2019).
- JENNY, H. 1994. *Factors of soil formation a System of Quantitative Pedology*. Dover Publications. Nueva York, EE. UU. 191 p. (Disponible: <http://bit.ly/2i9dVAZ> verificado: 15 de junio de 2019).
- LÓPEZ, F.; MUÑOZ, D.; HERNÁNDEZ, M.; SOLER, A.; CASTILLO-LOPEZ, M.C.; HERNÁNDEZ, I. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 56 (1), 19-41. (Disponible: <http://bit.ly/2KkTDan> verificado: 30 de mayo de 2019).
- MAG. 1999. *Sistema de monitoreo ambiental en el sector agropecuario del Ecuador*. Ministerio de agricultura y ganadería, Quito, Ecuador.
- MENA, P.; JOSSE, C.; MEDINA, G. 2000. *Los Suelos del Páramo*. Serie Páramo 5 Gtp /Abya Yala. Quito, Ecuador. 75 p. (Disponible: <http://bit.ly/2wYVKbb> verificado: 12 de mayo de 2019).
- MORENO, J.; AYALA, O.; REYES, D.; DÍAZ, D.; ANDRADE, L.; CHALCO, I.; CASCANTE, G. 2018. Validación de modelos geo-espaciales para cuantificar la fijación de carbono en el suelo. *Subcuenca del río Guayllabamba-Ecuador*. Ecuador es Calidad, vol. 5 (1), 32-39. (Disponible: <http://bit.ly/2Zi0fti> verificado: 09 de febrero de 2019).
- MOTHES, P. 1991. *El paisaje volcánico de la sierra ecuatoriana. Geomorfología fenómenos volcánicos y recursos asociados*. Corporación Editora Nacional, Quito, Ecuador. 92 p.

- MYERS, N.; MITTERMEIER, R.; MITTERMEIER, C.; DA FONSECA, G.; KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*. 403, 853-858.
- RAMSAY, P.; OXLEY, E. 2001. An Assessment of Aboveground Net Primary Productivity in Andean Grasslands of Central Ecuador. *Mountain Research and Development*, 21(2), 161-167.
- ROSSITER, D. 2000. Metodologías para el levantamiento del recurso suelo, 2.ª Versión revisada. International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC), Enschede, Países Bajos. 145 p. (Disponible: <https://bit.ly/2WA5vqi> verificado: 10 de abril de 2019).
- SÁNCHEZ, A.; GARCÍA, R.; PALMA, A. 2003. La cuenca hidrográfica: unidad básica de planeación y manejo de recursos naturales. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Tlalpan, México. 49 p. (Disponible: <https://bit.ly/2MEt06L> verificado: 20 de abril de 2019).
- SÁNCHEZ, J.; RUBIANO, Y. 2015. Process specific training andisols, alfisols and ultisols in Colombia. *Revista EIA*, (12), 85-97.
- SOIL SURVEY STAFF. 2006. Claves para la taxonomía de suelos. 10.ª ed. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio de Conservación de Recursos Naturales, Washington, Estados Unidos. 339 p. (Disponible: <https://bit.ly/2X4HITL> verificado: 05 de mayo de 2019).
- SCHAETZL, R.; ANDERSON, S. 2005. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge. Nueva York, EE. UU. 817 p.
- SHOJI, M.; NANZYU, M.; DAHLGREN, R. 1993. *Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization*. Elsevier Science Publishers. Ámsterdam, Países Bajos. 288 p.
- ZEBROWSKI, C.; ZOURDAT, M. 1997. Los Factores de la Pedogénesis y los Suelos en Ecuador. En: WINCKELL, A. (Ed.). *Los Paisajes Naturales del Ecuador*. Talleres gráficos del IGM. Quito, Ecuador. 97-129 pp. (Disponible: <https://bit.ly/2IEZxpw> verificado: 25 de mayo de 2019).
- ZEBROWSKI, C.; QUATIN, P. 1996. Caractérisation et formation de la canchagua en Équateur. En *Suelos volcánicos endurecidos*, iii Simposio Internacional, Quito, Ecuador. 510 p. (Disponible: <http://bit.ly/31pzgOq> verificado: 13 de febrero de 2019).
- ZEBROWSKI, C.; PRAT, C. 1991. Suelos volcánicos endurecidos. i Simposio Internacional, México. 585 p. (Disponible: <http://bit.ly/2wKLYcp> verificado: 02 de marzo de 2019).
- ZINCK, J. 2012. Geopedología, elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales. ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation. Enschede, Países Bajos. 123 p.
- ZONNEVELD, I. 1989. The land unit - A fundamental concept in landscape ecology, and its applications. *Landscape Ecology*. 3 (2), 67-86.
- ZAPATA, R.D. 2002. *Química de los procesos pedogenéticos del suelo*. Escuela de Geociencias, Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia. (Disponible: <https://bit.ly/2Zjc> verificado 25 de marzo de 2019).