

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO GEOPEDOLÓGICO

PROYECTO DE LEVANTAMIENTO DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA A ESCALA 1:25.000, Lotes 1 y 2

CONSORCIO TRACASA-NIPSA

Quito, junio de 2015

ÍNDICE

1	Introducción	1
2	Objetivos	3
2.1	Generales.....	3
2.2	Objetivos específicos	3
2.3	Objetivos del presente documento	3
3	Especificaciones técnicas.....	3
4	Conceptos.....	4
4.1	El levantamiento de suelos	4
4.2	El enfoque geopedológico.....	4
4.3	Caracterización del régimen climático del suelo.....	5
5	Metodología	6
5.1	Planificación del trabajo	6
5.2	Esquema metodológico general	7
5.3	Fase precampo	7
5.3.1	Análisis de estudios previos.....	7
5.3.2	Insumos de partida	8
5.3.2.1	Cartografía Geomorfológica.....	8
5.3.2.2	Caracterización del régimen climático del suelo.....	8
5.3.2.3	Otros insumos	9
5.3.3	Tipos de zonas y densidad de muestreo.....	9
5.3.3.1	Zonas de semidetalle	9
5.3.3.2	Zonas de reconocimiento.....	9
5.3.3.3	Zonas de exclusión	10
5.3.4	Unidades edáficas.....	10
5.3.5	Localización de los puntos de muestreo.....	11
5.3.5.1	Zonas de semidetalle	11
5.3.5.2	Zonas de reconocimiento.....	11
5.4	Fase de campo.....	12
5.5	Fase postcampo.....	13
5.5.1	Gestión de la información	13
5.5.2	Reportes analíticos de los laboratorios	13
5.5.3	Análisis de los datos de velocidad de infiltración	15
5.6	Elaboración de la Cartografía Geopedológica.....	15
5.6.1	Generación de la Cartografía Digital.....	15
5.6.2	Productos cartográficos finales	16

5.7	Control de calidad geopedológico	16
6	Referencias bibliográficas.....	17

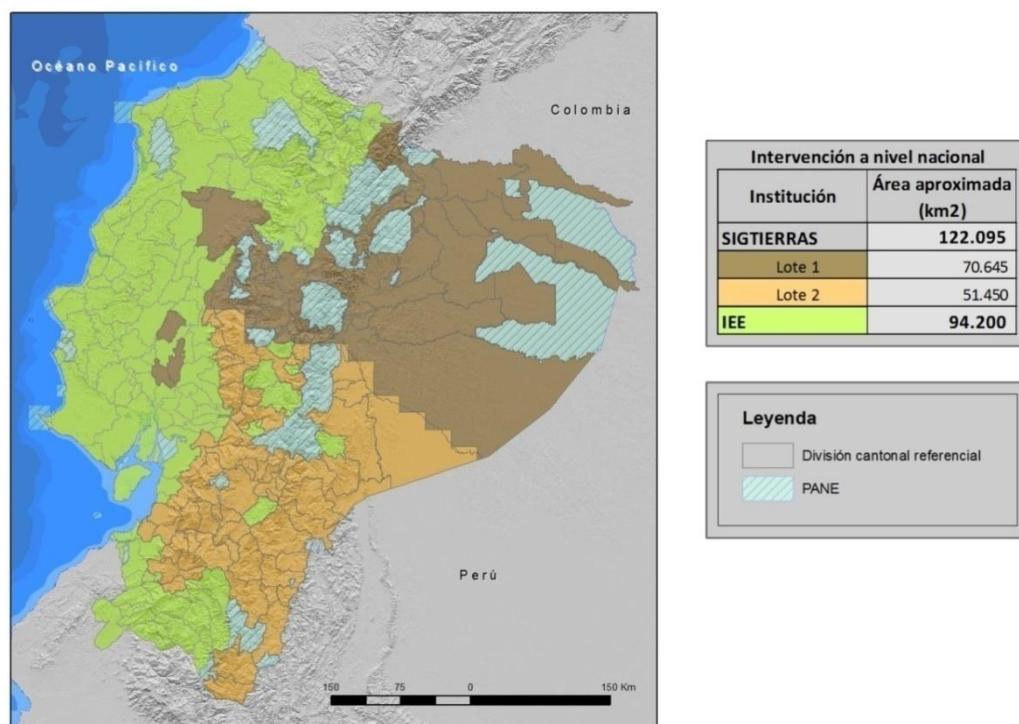
1 INTRODUCCIÓN

El Proyecto “Levantamiento de Cartografía Temática a Escala 1:25.000, Lotes 1 y 2” es ejecutado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, MAGAP, a través de la Unidad Ejecutora MAGAP-PRAT, dentro del Programa denominado como SIGTIERRAS. Dentro del componente de cartografía temática, en una labor conjunta con el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), MAGAP-SIGTIERRAS genera cartografía temática a escala 1:25.000 de las siguientes temáticas:

1. Cobertura y uso de la tierra
2. Sistemas Productivos
3. Geomorfología
4. Suelos
5. Capacidad de uso de las tierras
6. Dificultad de labranza
7. Zonas homogéneas de cultivos
8. Peligros Volcánicos
9. Accesibilidad a la red vial
10. Accesibilidad a infraestructura de acopio y facilidades agrícolas
11. Accesibilidad a centros económicos importantes
12. Zonas homogéneas de accesibilidad

Este levantamiento se ejecuta por parte de MAGAP-SIGTIERRAS dentro del territorio continental no intervenido ya anteriormente (áreas a cargo del IEE) y excluyendo las áreas protegidas definidas en el Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE), organizado en dos lotes de acuerdo a la siguiente Figura 1.1.

Figura 1.1. Distribución geográfica de la zona de estudio dentro del área continental



Fuente: Consorcio Tracasa-Nipsa, 2014.

El Levantamiento de Cartografía Temática a escala 1:25.000 de Ecuador (LCT) pretende generar cartografía digital y bases de datos territoriales, junto con otros productos como memorias y formatos de publicación, en un área de trabajo de, aproximadamente, 122.095 km².

Este estudio es de gran utilidad para elaborar procesos de planificación, ordenamiento territorial y catastro rural, además de proporcionar información valiosa para la ejecución de proyectos agro-productivos o de riego, drenaje, zonificación biofísica, así como proyectos de ingeniería e infraestructuras.

El conocimiento de los parámetros físicos de los suelos tiene en sí mismo gran importancia, de cara al desarrollo de estudios sobre conservación y manejo del recurso suelo, dada su destacada intervención en el ciclo del agua y la implicación de estos parámetros en la fertilidad de los suelos, sus aspectos físicos, químicos y microbiológicos, así como su vocación de uso y adecuadas prácticas de manejo.

Como puede verse, el conocimiento de los suelos tiene importancia a todas las escalas, desde la gestión, que precisa un conocimiento detallado con el fin de optimizar las producciones con el mínimo gasto y la mínima degradación del recurso, pasando por la planificación a diversos niveles, que precisa tomar decisiones sobre usos del suelo en general y la protección en particular, llegando al nivel global, en el que se evalúan parámetros como el carbono total secuestrado por los suelos (Batjes, 2000) en el estudio y prevención del cambio climático.

La cartografía de suelos es un campo científico muy activo, de forma continua se presentan nuevos métodos para mejorar la precisión cartográfica o para facilitar el levantamiento de información; la descripción de todas estas posibilidades metodológicas puede estructurarse en una serie de pasos comunes, dentro de los cuales se pueden definir múltiples variantes o sendas. Los bloques básicos de trabajo serían los siguientes: delimitación de unidades cartográficas de suelos, caracterización de las unidades cartográficas y obtención de la cartografía.

“Los métodos cartográficos son muy diversos en sus detalles y, en el límite, cada cartógrafo tiene el suyo” (Legros, 1996)

En este trabajo, siguiendo la metodología usada por el Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE, 2012), modificada por el Consorcio TRACASA-NIPSA, se ha optado por elegir un “enfoque geopedológico”, realizando el nivel de estudio de suelos a escala 1:25.000 (semidetallado). Este enfoque se basa en la alta correlación que existe entre la geomorfología (formas del relieve) y el suelo, que permite caracterizar los distintos tipos de suelos que existen en el país, con el objetivo de actualizar y estandarizar la información disponible.

“El relieve en sus distintos aspectos influye sobre las propiedades de los suelos” (Birkeland, 1999)

La estratificación del territorio mediante este enfoque geopedológico se fundamenta en el uso de variables de estabilidad temporal alta, como son las características del relieve y las coberturas litológicas, con el trasfondo que ambas poseen como factores formadores.

La información de la que se parte para la elaboración de la Cartografía Geopedológica son insumos creados por el propio Consorcio TRACASA-NIPSA, fundamentalmente la Cartografía Geomorfológica y la Cartografía de Cobertura y uso de la tierra, ambas a escala 1:25.000. También se utiliza otro tipo de información complementaria, como ortofotos, fotografías aéreas, modelos digitales del terreno (MDT), cartografía base e información secundaria. Toda esta información se gestiona y maneja gracias al empleo de sistemas de información geográfica.

Los distintos tipos de suelos identificados en el territorio se clasifican siguiendo los criterios que establece la *Soil Taxonomy* (SSS-USDA, 2006 y 2010). Se utiliza esta clasificación por estar ampliamente difundida, lo que facilita el intercambio de la información y su rápida interpretación.

“Los suelos se clasifican en cuanto a sus propiedades comunes, con objeto de sistematizar el conocimiento que existe sobre ellos y los procesos que establecen similitudes dentro de un grupo, y que marcan la disimilitud con otros grupos” (Birkeland, 1999).

La unidad taxonómica de clasificación es el Subgrupo y la unidad cartográfica es el perfil modal o perfil característico de la Unidad Edáfica.

2 OBJETIVOS

2.1 Generales

Generar, actualizar y estandarizar con enfoque sistémico a nivel semidetallado, información de carácter geopedológico a escala 1:25.000, como elemento fundamental que coadyuve a la gestión territorial, sostenibilidad y mejoramiento de la productividad agraria.

2.2 Objetivos específicos

Realizar el levantamiento de suelos, considerando sus aspectos morfológicos, físicos y químicos, usando el sistema norteamericano de clasificación de suelos (*Soil Taxonomy* 2006), tomando como base la cartografía geomorfológica generada y considerando también los regímenes de humedad y temperatura del suelo.

2.3 Objetivos del presente documento

La elaboración de este documento se plantea con los siguientes objetivos:

- Crear un documento que esté a disposición de los usuarios y del personal técnico que participa en los procesos de elaboración del Mapa Geopedológico, que detalle la metodología y procedimientos utilizados en la generación de la cartografía de suelos, así como sus ventajas y limitantes.
- Constituir un documento de referencia para los trabajos de campo y gabinete.
- Definir la metodología a seguir para la transferencia de información entre campo y oficina.

Este documento metodológico se complementa con el “Manual de Procedimientos de Geopedología”, donde se detallan los procesos que se comentan en los posteriores acápite.

3 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Área de estudio: lotes 1 y 2, definidos en el contrato.
- Unidad de estudio: hoja 50.000 y cantón.
- Escala: 1:25.000.
- Nivel de Estudio: semidetallado.
- Unidad mínima de mapeo: 1 ha.
- Unidad mínima de muestreo: 5 ha (una explicación detallada sobre la elección de esta unidad mínima se puede consultar en el “Manual de Procedimientos de Geopedología”).

- Sistema espacial de referencia: SIRGAS 95, UTM-WGS84-Zona 17S y 18S
- Formato digital de entrega: *.mdb y Postgres
- Sistema de clasificación taxonómica: *Soil Taxonomy*, 2006 y su correspondencia a 2010
- Categorización: subgrupos
- Perfiles representativos: un perfil modal por unidad edáfica (en Zonas de semidetalle)
- Análisis de laboratorio: específicos para clasificación según *Soil Taxonomy* (2006) y productividad.

4 CONCEPTOS

4.1 El levantamiento de suelos

El levantamiento de suelos es un estudio que nos permite conocer la distribución geográfica del recurso suelo en el territorio a diferentes niveles de detalle, de acuerdo con los propósitos buscados, es decir, describir las características y propiedades de los suelos en un área determinada, clasificar el suelo y situar sus límites en un mapa para, de este modo, tomar decisiones más fundamentadas al asignar usos a los suelos, con el propósito de evitar errores, disminuyendo costes económicos, sociales, políticos y medioambientales (Porta *et al.*, 2003), a la vez que se conserva el recurso mediante su adecuada gestión. Es una herramienta para estudiar y describir sistemáticamente el recurso suelo y, por tanto, constituye el procedimiento más rápido y preciso para hacer predicciones del comportamiento de los suelos bajo diferentes usos y niveles de manejo. Está basada, principalmente, en el estudio del terreno y la descripción de perfiles de suelos, clasificando los suelos en varios niveles de generalización. Al clasificar, se agrupan los perfiles de suelos con características similares y, al localizarlos geográficamente, con la ayuda de observaciones de campo, se analizan sus relaciones con las diversas formas del relieve.

4.2 El enfoque geopedológico

El enfoque geopedológico está basado en un tipo de muestreo dirigido que permite realizar una caracterización de suelos con el detalle necesario para cumplir con los estándares de una cartografía 1:25.000, tomando en cuenta las restricciones económicas y de tiempo disponibles para el levantamiento de suelos. Este enfoque utiliza el perfil de suelo como base de análisis y el uso intensivo de la fotointerpretación para identificar las unidades morfológicas.

La Geopedología es una ciencia que integra dos disciplinas afines, la Geomorfología y la Pedología (ésta última conocida más comúnmente como Edafología en la escuela anglosajona) (Zinck, 1988). En realidad, las relaciones entre la Geomorfología y la Pedología son inherentes, por lo que separar estos dos elementos naturales se convierte en algo muy difícil, por el hecho de que para entender los procesos de formación de suelos se tiene que tener un profundo conocimiento de su contexto geomorfológico (Birkeland, 1999).

Por lo tanto, la Geopedología involucra al estudio de los suelos y a la Geomorfología, orientada hacia un enfoque multidisciplinario aplicado (Farshad, 2010). Se trata de dar una interpretación espacial a los procesos edáficos, combinando las ciencias del suelo con otras disciplinas. El resultado final debe ser la obtención de mapas de los suelos y de sus propiedades derivadas.

El enfoque geopedológico que se utiliza en este proyecto opera a través de un sistema que comprende seis niveles jerárquicos: Dominio Fisiográfico, Contexto Morfológico, Génesis, Formación Geológica o Depósito Superficial, Morfología o Geoforma, Pendiente, y Subgrupo taxonómico USDA *Soil Taxonomy* (2006). Estos diferentes niveles se utilizan para fragmentar el

espacio geográfico a partir de su expresión geomorfológica y de acuerdo a sus rasgos homogéneos, los cuales permiten establecer áreas semejantes que derivarán en “unidades edáficas” (para obtener una explicación de los aspectos geomorfológicos implicados, por favor referirse a la Metodología de Geomorfología del presente proyecto).

Posteriormente a esta fragmentación del espacio se añade el régimen climático del suelo, a través de los regímenes de humedad y temperatura del suelo, utilizando los rangos definidos por *Soil Taxonomy*, ajustados al medio ecuatoriano durante las investigaciones y estudios de levantamiento de suelos realizados a nivel nacional por el PRONAREG-ORSTOM (1980 y 1984). Esta incorporación permite caracterizar con mayor precisión las unidades edáficas.

De esta forma y gracias a las relaciones existentes, es posible inferir la existencia de distintos tipos de suelo en zonas no muestreadas a partir de las observaciones realizadas en campo en esa unidad edáfica.

Todos los sistemas de clasificación tienen como objetivo catalogar sistemáticamente un conjunto o grupo de objetos que pertenecen al mismo universo. Para el caso específico de la Geopedología, esos objetos son las geoformas y los suelos. Consiguientemente, todas las geoformas, el nivel jerárquico mínimo y el tipo (o tipos) de suelo, son los individuos dentro del universo geomórfico y pedológico respectivamente (Farshad, 2010).

4.3 Caracterización del régimen climático del suelo

Los métodos de clasificación más tradicionales tienen un carácter genético, atendiendo a los factores formadores del suelo, entre los cuales el clima es considerado directamente como factor discriminante, debido a su influencia sobre los procesos de meteorización y de evolución edáfica. Por otro lado, las tendencias actuales en taxonomía de suelos buscan su descripción y clasificación atendiendo a las características físicas observables sobre el perfil, denominándose clasificaciones morfológicas.

El clima es también considerado dentro de las clasificaciones morfológicas como factor de clasificación que ayuda a separar suelos con distintos regímenes de humedad o temperatura, o ambos, como puede observarse en la clasificación americana *Soil Taxonomy* (SSS-USDA, 1975).

Los regímenes termopluviométricos mantienen una estrecha relación con los procesos de creación-destrucción de suelos, por lo que el establecer relaciones entre los climas locales y las unidades de suelos debe ser una importante herramienta en la sistematización de una cartografía edafológica.

Lógicamente existe una gran relación entre las condiciones climáticas de la atmósfera libre y las del suelo, estando los valores extremos amortiguados en el ambiente edáfico. Aun así, existen otros aspectos influyentes en el “Edafoclima”.

La humedad del suelo se ve modificada por:

- la pendiente del terreno, la forma de la ladera y la posición en la ladera, que hacen del suelo receptor o emisor de escorrentías;
- la existencia de cubierta vegetal o de materia orgánica en descomposición;
- las propiedades intrínsecas del suelo que faciliten la infiltración y la retención de agua,
- la temperatura que adquiera el suelo y el viento que favorezcan la evaporación directa.

Respecto a la temperatura del suelo, esta se ve influenciada por:

- la pendiente y orientación, que favorecen la mayor o menor recepción de radiación calorífica total;

- la cubierta vegetal;
- la humedad, que permite mantener más baja la temperatura a través de la evaporación.

5 METODOLOGÍA

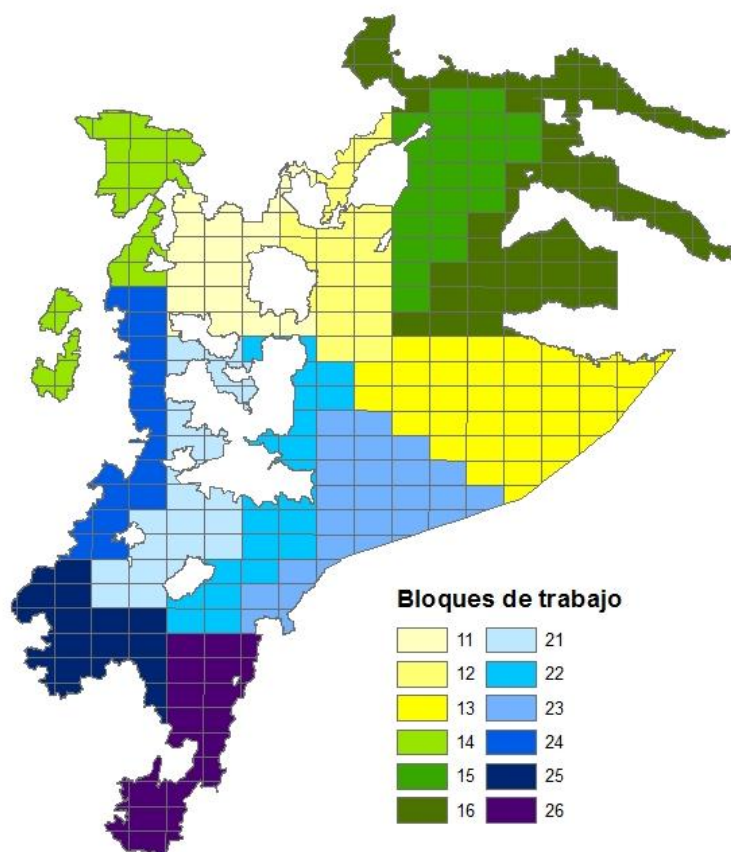
La metodología llevada a cabo por el Consorcio TRACASA-NIPSA toma como punto de partida la metodología desarrollada por el Instituto Espacial Ecuatoriano-IEE (2009-2013) y considera tres grandes etapas, según su realización en el tiempo, a saber: fase precampo, fase de campo y fase postcampo.

A continuación se definen con detalle estas tres etapas, presentando previamente la planificación general del proyecto y un esquema metodológico para una mejor comprensión de todo el proceso.

5.1 Planificación del trabajo

El área de trabajo está organizada en bloques, tal como se muestra en la Figura 5.1. Se trabaja en los LOTES 1 y 2 simultáneamente, y cada LOTE está organizado en 6 bloques.

Figura 5.1. Área de trabajo por bloques.



Fuente: Consorcio Tracasa-Nipsa, 2014.

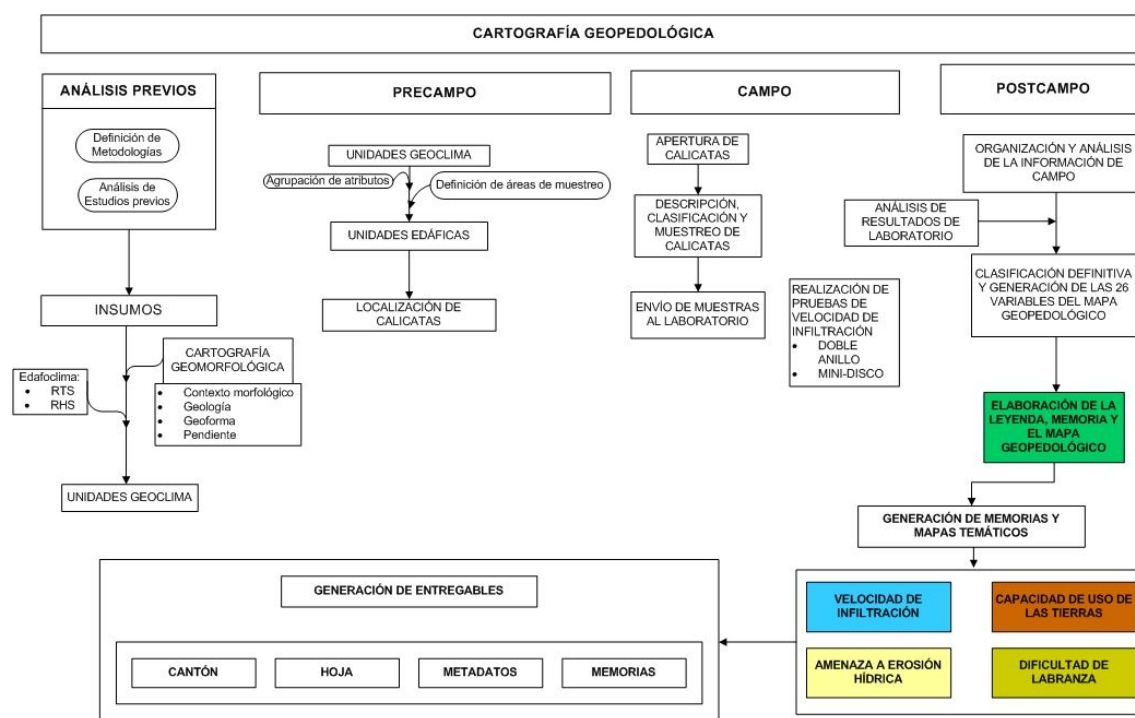
El orden de ejecución de los bloques de trabajo es el que se indica a continuación:

- **LOTE 1:** 11, 15, 16, 14, 12 y 13.
- **LOTE 2:** 21, 22, 23, 24, 25 y 26.

La planificación es realizada por el equipo de suelos, con el fin de cubrir la zona de estudio con la densidad de muestreo requerida, como se explica más adelante. Con esto, los técnicos de avanzada trazan una hoja de ruta utilizando el mapa de Cartografía Base que permite evaluar el nivel de accesibilidad a cada punto de muestreo. A su vez, se localizan bases estratégicas de trabajo entre las ciudades que ofrezcan las mejores condiciones.

5.2 Esquema metodológico general

Gráfico 5.1. Esquema metodológico general del proceso de levantamiento de Cartografía Geopedológica



Fuente: Consorcio Tracasa-Nipsa, 2014.

5.3 Fase precampo

5.3.1 Análisis de estudios previos

Previo a la fase de precampo propiamente dicha, se procede a la revisión y validación de la información secundaria disponible que pueda afectar al proceso de levantamiento de información edáfica, con el objeto de orientar y facilitar el desempeño de las tareas propias del proyecto.

Son especialmente relevantes los estudios realizados por Winckell *et al.* (1997a y 1997b) sobre “Los Paisajes Naturales del Ecuador”, en sus dos volúmenes, y el Mapa edafológico del Ecuador (Carta de Suelos y Geomorfología, Sierra y Costa, Mapas Morfo-pedológicos Costa; y Mapas Morfo-pedológicos Amazonía, a escalas 1:50.000 en la Sierra, 1:200.000 en la Costa y 1:500.000 en Amazonía) realizados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador (MAG), Programa Nacional de Regionalización (PRONAREG) y la Office de la Recherche Scientifique Et Technique Outre Mer (ORSTOM) en 1980, sin olvidar el Proyecto del Instituto

Espacial Ecuatoriano sobre la “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional a Escala 1:25.000”.

5.3.2 Insumos de partida

5.3.2.1 Cartografía Geomorfológica

La Cartografía Geomorfológica generada por el Consorcio TRACASA-NIPSA es el mapa que sirve de insumo principal para la elaboración de la Cartografía Geopedológica. Esta cartografía contiene gran parte de la información necesaria para poder caracterizar los suelos de cada una de estas unidades geomorfológicas, en concreto, incluye información sobre el Dominio Fisiográfico, Contexto Morfológico, Génesis, Formación Geológica o Depósito Superficial, Morfología o Geoforma y Pendiente, aspectos que permiten entender la dinámica de los suelos y la interacción entre los diferentes factores de formación de los mismos.

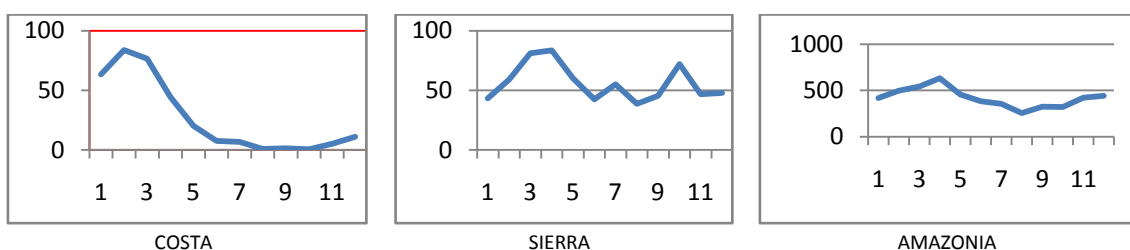
5.3.2.2 Caracterización del régimen climático del suelo

En esta fase se identifican y delimitan las zonas climáticas de humedad y temperatura del suelo basándose en los rangos definidos en la *Soil Taxonomy*, ajustados al medio ecuatoriano durante las investigaciones y estudios de levantamiento de suelos realizados a nivel nacional por el PRONAREG-ORSTOM (1980 y 1984) (IEE, 2012).

Para esta caracterización se necesitan mediciones de humedad y temperatura en el suelo a diferentes profundidades. Teniendo en cuenta que esta información no existe para las zonas en estudio, se toma como referente la información del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que posee datos de estaciones meteorológicas a partir de las cuales el IEE derivó modelos de isolíneas de precipitación (isoyetas) y de temperatura (isotermas), las cuales se complementan con el análisis de las estaciones más cercanas (a un promedio de 15-20 km), en donde se estudian los meses secos.

El procedimiento realizado parte de cada una de las estaciones meteorológicas disponibles en las que se calcula el promedio mensual y anual de los años de registros completos; los siguientes gráficos (**Gráfico 5.2**) indican el comportamiento pluvial durante el año.

Gráfico 5.2. Variación de la precipitación a lo largo del año en las distintas regiones. En eje de abscisas se representan los meses y en el de ordenadas los valores de precipitación media mensual.



Fuente: Consorcio Tracasa-Nipsa, 2014.

Así, el Mapa Geomorfológico se completa mediante la incorporación del régimen climático del suelo a través de los parámetros referenciales de los regímenes de temperatura y humedad del suelo, ajustados mediante el análisis del paisaje y utilizando la información secundaria disponible. La información de zonas climáticas definidas por el PRONAREG-ORSTOM (1980-1984), proyecto MAG-IICA-CLIRSEN (2002), también sirve de apoyo en esta fase.

Como resultado de la asignación climática a las unidades geomorfológicas, las nuevas unidades espaciales así definidas adquieren su propia identidad, adoptando el nombre de “Unidades Geoclima”.

5.3.2.3 Otros insumos

Para poder realizar la metodología que se presenta en este documento es necesario recurrir a la información contenida en otros insumos, dentro de los cuales habría que destacar la Cartografía de Cobertura y uso de la tierra (elaborada por el Consorcio TRACASA-NIPSA), ortofotos, modelos digitales del terreno y otra información secundaria.

5.3.3 **Tipos de zonas y densidad de muestreo**

La densidad de muestreo que se propone en esta metodología depende considerablemente de las características del territorio que se quiere describir, siendo el detalle solicitado en el proyecto diferente según los casos.

En concreto, en el proyecto se han definido tres tipos diferentes de zonas, que se han denominado Zonas de semidetalle, Zonas de reconocimiento y Zonas de exclusión, cuyo tratamiento es diferente, según se explica más adelante. Específicamente, las Zonas de reconocimiento corresponden a zonas en las cuales un estudio detallado de los suelos no es oportuno, ya que se trata de áreas con una vocación distinta a la agroproductiva: zonas de alta biodiversidad por encontrarse cubiertas de vastas extensiones de bosques primarios; zonas cuya pendiente hace marginal la productividad, debiendo destinarse a conservación; y zonas frágiles de gran altitud que actúan como captadoras de agua (páramos). Los nombres otorgados a cada zona (semidetalle y reconocimiento) corresponden a identificaciones utilizadas dentro del proyecto y no pretenden cumplir todas las condiciones técnicas que tradicionalmente se asignan a estos tipos de estudios.

5.3.3.1 Zonas de semidetalle

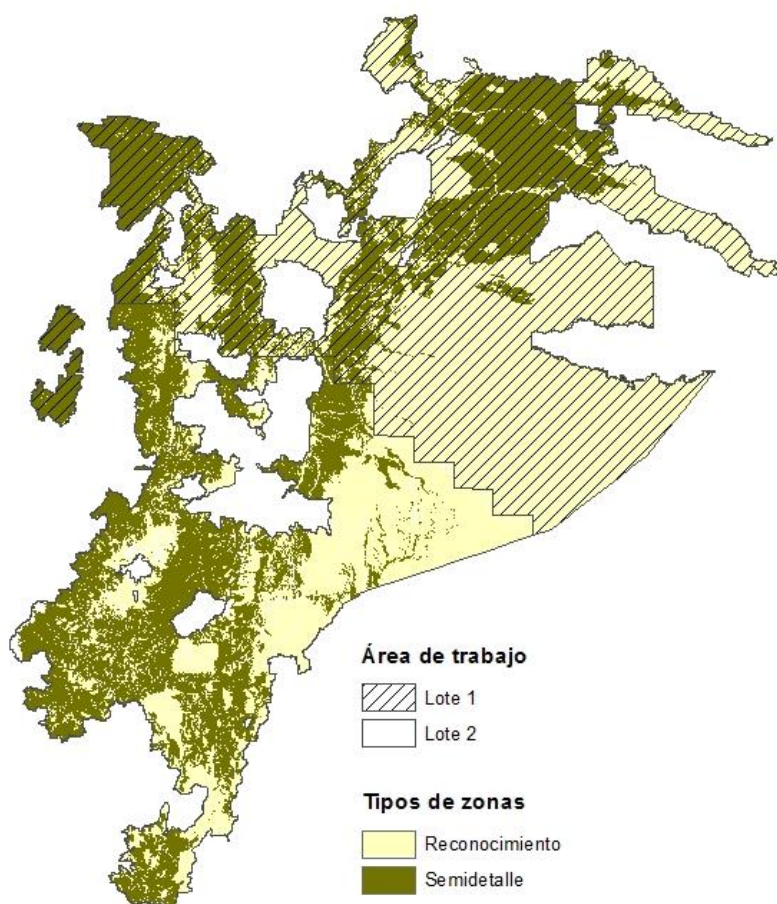
En las Zonas de semidetalle se lleva a cabo un muestreo tipológico en el que se realiza, al menos, una calicata por unidad edáfica (ver definición en 5.3.4), con una densidad no menor a una calicata cada 10 km².

5.3.3.2 Zonas de reconocimiento

En las Zonas de reconocimiento se realiza un muestreo no tipológico con, al menos, una calicata por cada 200 km². Se consideran áreas de reconocimiento las siguientes:

- Zonas identificadas como páramo en la Cartografía de Cobertura y uso de la tierra generada en este Proyecto.
- Zonas con pendientes mayores al 70 % en la Sierra y Costa, y mayores al 40 % en la Amazonía, definidas a partir del Levantamiento Geomorfológico.
- Zonas de vegetación natural en Amazonía.

Figura 5.2. Diferenciación general de zonas en el área de trabajo según la intensidad de muestreo.



Fuente: Consorcio Tracasa-Nipsa, 2015.

5.3.3.3 Zonas de exclusión

Se consideran áreas carentes de caracterización para los análisis detallados en este estudio y sobre las que no se intervendrá las siguientes zonas, obtenidas a partir de la Cartografía de Cobertura y uso de la tierra y de la Cartografía Geomorfológica:

- Tierras misceláneas, áreas con poco o nada de suelo, como afloramientos rocosos, humedales, salares, playas, flujos de lava recientes, etc.
- El medio construido.
- Las masas de agua (lagunas, ríos, cauces y meandros, terrazas bajas, pantanos, marismas, estuarios, etc.).

5.3.4 Unidades edáficas

Una vez establecidos los distintos tipos de zonas, se procede a la agrupación de las “unidades geoclima” teniendo en cuenta el tipo de geoforma y su pendiente. El proceso se describe con más detalle en el “Manual de Procedimientos de Geopedología”.

El objetivo final, para el caso de las Zonas de semidetalle, es establecer las “unidades edáficas”, resultado de la agrupación de aquellos polígonos que tengan igual Dominio

Fisiográfico, Contexto Morfológico, Formación Geológica o Depósito Superficial, Geoforma, rango de pendientes y regímenes de humedad y temperatura. A cada una de estas unidades edáficas se le asignará una calicata.

El tratamiento en las Zonas de reconocimiento parte del análisis de la unidad edáfica y es similar al de las Zonas de semidetalle, aunque teniendo en cuenta las particularidades de estas áreas.

5.3.5 Localización de los puntos de muestreo

La metodología para establecer la ubicación de los puntos de muestreo se detalla en el “Manual de Procedimientos de Geopedología”, diferenciando para el caso de las Zonas de semidetalle y las de reconocimiento.

La localización de estos lugares de observación de suelos se establece en puntos estratégicos, representativos de la variabilidad del paisaje, y teniendo en cuenta la clasificación jerárquica de las “unidades geoclima” respecto al Dominio Fisiográfico, Contexto Morfológico, Formación Geológica o Superficial, Geoforma y rango de pendientes, además, obviamente, del régimen de humedad y de temperatura del suelo en cada unidad.

5.3.5.1 Zonas de semidetalle

La última actividad de esta fase precampo es establecer la ubicación previa de los puntos de muestreo. Se debe localizar, al menos, una calicata por cada unidad edáfica diferente.

La ubicación de los puntos se apoya en la información adicional aportada por las fotografías aéreas, ortofotos u ortoimágenes (tipo de vegetación, etc.), la accesibilidad a la zona y la cartografía secundaria, pero fundamentalmente se basa en las unidades edáficas, tomando en cuenta los factores formadores.

Los puntos de muestreo se sitúan en las zonas centrales de los polígonos más representativos, que serán, en principio, los de mayor superficie; están próximos a las vías de acceso, a menos de 200 m, pero conservando una separación a las vías de, al menos, 25 m; y en localizaciones que son representativas de la unidad edáfica que se quiere caracterizar.

5.3.5.2 Zonas de reconocimiento

La localización de los puntos de muestreo en las Zonas de reconocimiento requiere un tratamiento especial.

En este caso la densidad de muestreo es inferior, de manera que se opta por realizar los muestreos en los suelos predominantes que describe la información secundaria (suelos definidos en PRONAREG-ORSTOM; mapas morfopedológicos a escala 1:200.000, 1:500.000 y edafológicos a escala 1:50.000 realizados entre los años 1979 a 1984) y en las geoformas más representativas, mediante un análisis de las condiciones y variabilidad de la zona. Si del análisis se desprende que existe una importante variación en pendientes o formaciones geológicas que no se ha contemplado, se toman también en cuenta estos factores para la ubicación de las calicatas, considerando siempre la densidad de muestreo requerida. Además, se intenta incluir también el contexto morfológico como factor de diversidad en el momento de la localización de los puntos de muestreo.

El objetivo es conseguir una buena distribución en el paisaje de los puntos de muestreo, de manera que exista información referencial sobre el tipo de suelo que puede existir.

5.4 Fase de campo

El resultado de la fase inicial de precampo es un *shapefile* con la localización planificada de los emplazamientos de las calicatas, con distinta densidad de muestro según se trate de Zonas de semidetalle o de Zonas de reconocimiento.

Una vez establecida esta localización en gabinete y antes de comenzar la campaña de campo, es importante realizar visitas técnicas a las instituciones afectadas por la ejecución del proyecto presentes en la zona de intervención, tales como municipios, juntas parroquiales y organizaciones sociales, con el fin de dar a conocer los trabajos que se quieren realizar en la zona. Esta socialización previa a la salida de campo evita a los técnicos posibles conflictos que puedan surgir con las comunidades locales y les permite hacer partícipes de los objetivos que el MAGAP pretende con este Proyecto. Posibilita, además, que el personal técnico disponga también de una lista con los contactos posibles en la zona, para poder solucionar problemas que surjan en el momento de acceder a la zona de muestreo.

Tras esta fase de coordinación institucional, esta parte del Proyecto se organiza a través de cinco grupos de trabajo:

- Equipo de logística
- Equipo de avanzada
- Equipo de suelos
- Equipo de infiltración
- Equipo de control de calidad

Las tareas y equipamiento asignados a cada uno de estos equipos se detallan en el “Manual de Procedimientos de Geopedología”.

De forma resumida, el equipo de logística tiene encomendada tareas de gestión para el buen funcionamiento de todos los equipos de trabajo. El equipo de avanzada se encarga de la apertura de las calicatas en los lugares previamente definidos en gabinete, comprobando la idoneidad de esta localización. Y es el equipo de suelos el que describe los perfiles abiertos, los clasifica y recoge las muestras para su posterior análisis en el laboratorio. Cuando no es posible realizar una calicata (por cuestiones de acceso, permiso, etc.) la misma se reubica en otro lugar representativo, siempre que sea posible.

La descripción de los perfiles de suelos consiste en el análisis visual y táctil de las diferentes características morfológicas de cada uno de los horizontes y/o capas del suelo. Para esta descripción de los perfiles se siguen los criterios de la Guía para Descripción de Suelos, publicada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) en el año 2009.

Con todos los datos recabados en la fase de campo, se procede a dar una clasificación taxonómica preliminar del suelo hasta el nivel de Subgrupo, utilizando el Sistema Americano de Clasificación de Suelos, *Soil Taxonomy* (SSS-USDA, 2006). Esta clasificación se revisa luego en la fase postcampo, cuando se dispone de todos los datos de las fichas de campo y de los resultados de los laboratorios, para obtener la clasificación final.

De cada perfil que se utiliza para caracterizar la unidad edáfica se toman dos muestras, como mínimo, con análisis completos (definidos en el “Manual de Procedimientos de Geopedología”), tomando más muestras siempre que sean necesarias para sustentar la clasificación taxonómica. Además, se toma un 5% adicional de muestras para realizar un control de calidad del laboratorio.

El objetivo es describir de forma detallada y completa el perfil representativo del suelo que se usa para caracterizar cada unidad edáfica, asegurando que exista, al menos, una calicata representativa por cada unidad edáfica.

En esta fase del trabajo, el edafólogo, en el proceso de caracterización del entorno donde se ha realizado el muestreo, también confirma que los regímenes de humedad y de temperatura asignados desde gabinete concuerdan con la realidad observada, caso contrario lo registra y se ajusta el clima.

En cada calicata se realizan también pruebas de infiltración con un infiltrómetro de membrana permeable (minidisco), siempre que la pendiente sea inferior al 40%. En un 10% del número programado de calicatas se realiza una medición de infiltración con el método de doble anillo (según Müntz), eligiendo unidades con una pendiente inferior al 12%, con el fin de establecer correlaciones entre ambos métodos y poder así establecer correcciones en el resto de medidas hechas en campo.

5.5 Fase postcampo

5.5.1 Gestión de la información

Toda la información que se ha recogido en campo se gestiona y almacena a través de bases de datos geográficas, y se amplía y complementa con los resultados analíticos que reportan los laboratorios.

El proceso se inicia, una vez finalizado el trabajo de campo y ya en gabinete, con la revisión, nuevamente, de las fichas de campo. Tras comprobar la coherencia y completitud de los datos, estos se transfieren a la base de datos del proyecto, la Geodatabase SDE, utilizando para ello la herramienta desarrollada para GeoMap en este proyecto.

Paralelamente se procesan las muestras de suelo y se incorporan los resultados analíticos reportados por los laboratorios. Estos resultados se revisan a la vez que se interpretan y analizan, en correspondencia con la información de campo, para estudiar su coherencia con el medio.

Con toda la información disponible y organizada, derivada tanto del campo como del laboratorio, los edafólogos realizan la clasificación definitiva del suelo atendiendo a las variables características del perfil utilizando la *Soil Taxonomy* 2006 y determinando su correspondencia a 2010. Esta revisión la realiza el mismo edafólogo que participó en la descripción de la calicata en campo.

Una vez que se dispone de toda la información de los perfiles abiertos en campo, cada una de estas calicatas se utiliza para caracterizar las unidades edáficas que fueron diferenciadas en la fase de precampo. Cuando la unidad edáfica contiene calicata, la asignación de la información edáfica es directa; pero existen situaciones diversas en las cuales no se posee información directa de campo, entonces se procede a la asignación de la información con calicatas de otras unidades edáficas similares, aplicando criterios de similitud. Todo este proceso de asignación de información a las unidades edáficas se realiza por hoja 50.000 en Zonas de semidetalle y por bloque en Zonas de reconocimiento.

5.5.2 Reportes analíticos de los laboratorios

Para la realización de los análisis en los laboratorios se siguen las metodologías establecidas por la Red de Laboratorios de Suelos del Ecuador (RELASE) y otros métodos reconocidos a nivel internacional, con el fin de obtener resultados representativos. Los diferentes tipos de análisis que se realizan en el proyecto se pueden consultar en la **Tabla 5.1**.

Tabla 5.1. Diferentes tipos de análisis que pueden realizarse en los laboratorios.

Tipo de Análisis en el laboratorio	Parámetros	Método	Unidad de reporte
Tipo A	pH	Potenciométrico en agua (1:2.5)	pH
	Nitrógeno amoniacal	Olsen pH 8.5	ppm
	Fósforo disponible	Olsen pH 8.5	ppm
	Potasio disponible	Olsen pH 8.5	meq/100 g de suelo
	Calcio disponible	Olsen pH 8.5	meq/100 g de suelo
	Magnesio disponible	Olsen pH 8.5	meq/100 g de suelo
	Materia Orgánica	Walkey-Black	%
	Suma de Bases	Acetato de Amonio a pH 7	meq/100 g de suelo
	Saturación de bases	Cálculo	%
	NaCIC	Acetato de Amonio a pH 7	meq/100 g de suelo
	KCIC	Acetato de Amonio a pH 7	meq/100 g de suelo
	CaCIC	Acetato de Amonio a pH 7	meq/100 g de suelo
	MgCIC	Acetato de Amonio a pH 7	meq/100 g de suelo
	CIC	Acetato de Amonio a pH 7	meq/100 g de suelo
	Textura % arcilla	Bouyoucus (Hidrómetro)	%
	Textura % limo	Bouyoucus (Hidrómetro)	%
	Textura % arena	Bouyoucus (Hidrómetro)	%
	Clase textural	Cálculo	Nombre
	Conductividad eléctrica	Conductimétrico en agua (1:2.5)	dS/m
	Acidez libre**	Volumetrico (titulación)	meq/100 g de suelo
	Aluminio intercambiable***	Volumetrico (titulación)	meq/100 g de suelo
Tipo B	pH	Potenciométrico en agua (1:2.5)	pH
	Nitrógeno amoniacal	Olsen pH 8.5	ppm
	Fósforo disponible	Olsen pH 8.5	ppm
	Potasio disponible	Olsen pH 8.5	meq/100 g de suelo
	Calcio disponible	Olsen pH 8.5	meq/100 g de suelo
	Magnesio disponible	Olsen pH 8.5	meq/100 g de suelo
	Materia Orgánica	Walkey-Black	%
	Textura % arcilla	Bouyoucus (Hidrómetro)	%
	Textura % limo	Bouyoucus (Hidrómetro)	%
	Textura % arena	Bouyoucus (Hidrómetro)	%
	Clase textural	Cálculo	Nombre
	Conductividad eléctrica	Conductimétrico en agua (1:2.5)	dS/m
Tipo S* * Se realizará cuando en muestras tipo A (o B): - CE 1:2.5 sea mayor a 1.0 dS/m	pH	Potenciométrico en extracto pasta saturada	pH
	Conductividad eléctrica	Conductimétrico en extracto pasta saturada	dS/m
	Cationes: Sodio	Extracto de Pasta Saturada	meq/l
	Cationes: Potasio	Extracto de Pasta Saturada	meq/l
	Cationes: Calcio	Extracto de Pasta Saturada	meq/l
	Cationes: Magnesio	Extracto de Pasta Saturada	meq/l
	Aniones: Carbonatos	Extracto de Pasta Saturada	meq/l
	Aniones: Bicarbonatos	Extracto de Pasta Saturada	meq/l
	Aniones: Sulfatos	Extracto de Pasta Saturada	meq/l
	Aniones: Cloruros	Extracto de Pasta Saturada	meq/l
	PSI	Cálculo	%
	RAS	Cálculo	%
Tipo C	Carbonatos totales	titulación	%
Tipo F1	Densidad aparente	Estufa/volumen cilindro	g/cm3
Tipo F2	Retención de agua gravimétrica a 33 kPa	Ollas de presión y placas de porcelana	%
	Retención de agua gravimétrica a 1500 kPa	Ollas de presión y placas de porcelana	%
Tipo Ox	pH para Oxisoles	Potenciométrico en KCl 1N (1:2.5)	pH
Tipo P Retención de fosfato	Equilibrio con 1000 mg/kg de solución de fósforo	Olsen	%

** Se realiza cuando el pH < 5,5

*** Se realiza cuando el pH < 4,5

Dependiendo del tipo de horizonte muestreado se asigna un tipo de análisis. El análisis Tipo A es el más completo y se realiza para las muestras tomadas en los 50 cm superiores del perfil, mientras que el análisis Tipo B se solicita para las muestras más profundas. El resto de análisis constituyen pruebas que, según los casos, se solicitan para confirmar la clasificación de los suelos estudiados.

Los laboratorios reportan progresivamente los resultados que van obteniendo, datos que se gestionan y controlan a través de la bases de datos. La calidad de los resultados analíticos es controlada tanto por los propios laboratorios, antes de la entrega, como por el equipo técnico del CTN, como parte del proceso de control de calidad que se realiza en el proyecto.

Las muestras que se van recibiendo permiten la creación de una biblioteca de suelos, en continuo estado de ampliación y actualización.

5.5.3 Análisis de los datos de velocidad de infiltración

En esta fase del proyecto también se analiza la información procedente de los ensayos de infiltración, tanto del minidisco como del doble anillo, se realiza un estudio estadístico de correlación entre ambos y se generan ecuaciones que permiten calcular los valores de la velocidad de infiltración para todos los puntos analizados.

5.6 Elaboración de la Cartografía Geopedológica

5.6.1 Generación de la Cartografía Digital

Partiendo del mapa que contiene las unidades edáficas y el mapa de puntos de observación con su correspondiente información edáfica, se procede a dar contenido al Mapa Geopedológico. El Mapa Geopedológico representa, así, un modelo conceptual de la distribución espacial de las unidades del suelo en el área de estudio.

Inicialmente, cada unidad edáfica está caracterizada por una calicata, que es la que se utiliza para dotarla de información. Sin embargo, las dificultades encontradas en los trabajos de campo pueden provocar que alguna unidad edáfica carezca de punto de observación y, por tanto, quede sin información. En estos casos se procede asignando a esta unidad edáfica una calicata de otra unidad similar, teniendo en cuenta la proximidad entre las unidades, el entorno edáfico y la información proporcionada por estudios previos, fundamentalmente los mapas PRONAREG-ORSTOM.

Otra situación posible es la existencia en una misma unidad edáfica de más de una calicata que sirva para caracterizarla. En este caso, según la metodología adoptada, el análisis del entorno edáfico determina el uso de la o las calicatas más representativas para informar la cartografía geopedológica, reservando el resto de calicatas para indicar la variabilidad edáfica posible en el interior de esa unidad.

Se han seleccionado un total de 26 variables para informar el Mapa Geopedológico, vinculadas a cada perfil. Estas variables son las siguientes: Código de perfil, Clave taxonómica (2006 y 2010), Clasificación a nivel de Subgrupo (2006 y 2010), Textura superficial, Textura a profundidad, Drenaje natural, Profundidad efectiva, Pedregosidad, Afloramientos rocosos, Elementos gruesos, Toxicidad, pH, Salinidad, Profundidad del nivel freático, Régimen de temperatura del suelo, Régimen de humedad del suelo, Materia orgánica, Capacidad de intercambio catiónico, Saturación de Bases, Fertilidad, Inundabilidad, Velocidad de infiltración, Características y Código Suelo. A estas variables se añaden las heredadas de la cartografía geomorfológica.

Estas variables son de diferente naturaleza, algunas derivan directamente de las “unidades geoclima” (régimenes de humedad y temperatura), otras se obtienen a partir de las

descripciones en campo (pedregosidad, afloramientos rocosos, etc.) y otras proceden de los análisis de laboratorio (pH, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, etc.). Además, algunas de estas variables se calculan a partir de otros parámetros, como es el caso de la fertilidad o la toxicidad.

5.6.2 Productos cartográficos finales

Las salidas cartográficas se elaboran por hoja 50M y por cantón, a escala de trabajo 1:25.000 y publicadas a escala 1:50.000, donde se muestran las diferentes unidades edáficas encontradas con su perfil modal clasificado a nivel de Subgrupo según *Soil Taxonomy (SSS-USDA, 2006)*. En el mapa final, a cada Subgrupo se le asigna un número para facilitar su identificación.

La Leyenda Geopedológica que acompaña al mapa debe estar bien estructurada, ser coherente, sencilla, fácil de leer y adaptada al objetivo del mapa. En este Proyecto se estructura y jerarquiza de la siguiente manera: Dominio Fisiográfico; Contexto Morfológico; Régimen de temperatura del suelo; Formación Geológica o Superficial; Geoforma; Pendiente; Características del suelo; Perfil representativo y Clasificación taxonómica a nivel de Subgrupo y Clave.

En las salidas cartográficas se incluyen también dos esquemas, a escala 1:500.000, con los contextos morfológicos y los regímenes de temperatura de los suelos, ambos de carácter explicativo.

Finalmente se redactan las memorias cantonales y se elaboran los metadatos.

5.7 Control de calidad geopedológico

Durante el desarrollo del Proyecto de Cartografía Temática y para una correcta garantía de la calidad del mismo, el Consorcio TRACASA-NIPSA, en la temática de Geopedología, establece un control de calidad de las diferentes etapas y componentes del proyecto.

Este control de calidad del mapa Geopedológico lo realiza un equipo de 14 personas, conformadas por edafólogos con amplia experiencia, que a su vez certifican el cumplimiento de calidad en todas las fases de elaboración de la cartografía de suelos.

En el seguimiento y control del avance del trabajo de campo se informa a gabinete de forma diaria. Ello conlleva hacer el seguimiento en campo de los equipos de descripción de calicatas y de las pruebas de infiltración que intervienen en cada hoja asignada. Todo ello permite al responsable de la Hoja 50M tener una visión global, a nivel de paisaje y suelos.

En la fase de postcampo el equipo de control de calidad revisa y evalúa los procedimientos posteriores al levantamiento de la información en campo (revisión de fichas de campo, resultados analíticos de los laboratorios, clasificaciones finales a nivel de Subgrupo y asignaciones a las unidades edáficas sin información directa), detectando errores y estableciendo medidas correctoras.

Existe también un control de la consistencia de los resultados analíticos reportados por los laboratorios, a través de un análisis estadístico con datos proporcionados por las contramuestras que recoge el equipo de control de calidad en campo.

Las tareas que desempeña el equipo técnico de Control de Calidad se describen con más detalle en el “Manual de Procedimientos de Geopedología”.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Batjes, N.H.; 2000. *Effects of mapped variation in soil conditions on estimates of soil carbon and nitrogen stocks for South America*. Geoderma. 97 (2000) pp.135-144.
2. Birkeland, P.W.; 1999. *Soils and Geomorphology*. Oxford University Press. 430 pp.
3. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación); 2009. *Guía para la Descripción de Suelos*. Roma, Trad. R. Vargas. 1ª ed., Roma, IT, 99 pp.
4. Farshad, A.; 2010. *Geopedology. An introduction to soil survey, with emphasis on profile description* (CD-ROM). Enschede, The Netherlands: Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), University of Twente.
5. IEE, Instituto Espacial Ecuatoriano, MAGAP-SINAGAP; CLIRSEN; SENPLADES; 2012. *Proyecto: "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, Escala 1: 25 000. Estudiogeopedológico. Metodología"*. Ecuador, 11 pp.
6. Legros, J.P.; 1996. *Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne. 321 pp.
7. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica), IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura); CLIRSEN (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos del Ecuador); 2002. *Proyecto de Generación de Información Georeferenciada para el Desarrollo Sustentable del Sector Agropecuario*. Quito, EC. (Informe Final).
8. Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C.; 2003. *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente*. Ed. Mundi-Prensa, 3ª ed., Madrid, ES, 960 pp.
9. PRONAREG – ORSTOM; 1982. *Leyenda de los mapas morfopedológicos del Ecuador*. Quito, Esc. 1: 200 000.
10. SSS-USDA (Soil Survey Staff, United States Department of Agriculture); 2006. *Claves para la Taxonomía de Suelos (Keys to Soil Taxonomy traducida en español)*, 10th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC, USA, 330 pp.
11. SSS-USDA (Soil Survey Staff, United States Department of Agriculture); 2010. *Claves para la Taxonomía de Suelos*. 11ª ed. en español (Trad. Ortiz, C.A., Gutiérrez-Castorena, M.C. y Gutiérrez-Castorena, E.V.). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. 365 pp.
12. SSS-USDA (Soil Survey Staff, United States Department of Agriculture); 1975. *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. United States Department of Agriculture (USDA). Handbook No 463, 754 pp.
13. Winckell, A., Marocco, R., Winter, T., Huttel, C., Pourrut, P., Zebrowski, C., Sourdat, M.; 1997a. *Los Paisajes Naturales del Ecuador: las Condiciones del Medio Natural*. CEDIG-IPGH-ORSTOM-IGM. V.1 (Geografía Básica del Ecuador), Tomo 4 (Geografía Física), Quito, EC, 159 pp.
14. Winckell, A., Zebrowski, C., Sourdat, M.; 1997b. *Los Paisajes Naturales del Ecuador: las Regiones y Paisajes del Ecuador*. CEDIG-IPGH-ORSTOM-IGM. V.2 (Geografía Básica del Ecuador), Tomo 4 (Geografía Física), Quito, EC, 417 pp.
15. Zinck, J.A; 1988. *Geopedología. Elementos de Geomorfología para Estudios de Suelos y de Riesgos Naturales*. ITC Special Lecture Notes Series. Enschede, The Netherlands. 123 pp.