

# Un modelo suelo-paisaje para la planificación ambiental de la microcuenca del río Zarzales, estado Mérida-Venezuela

*A soil-landscape model for environmental planning of Zarzales river watershed, Mérida State-Venezuela*

Joel Francisco Mejía\* y Mauricio Vera Morales\*

*Recibido: octubre, 2000 / Aceptado: noviembre, 2000*

## Resumen

El enfoque suelo-paisaje representa una alternativa para estudiar los suelos como resultado de la acción conjugada de factores biofísicos y antrópicos que les imprimen una identidad particular dentro del paisaje. Este trabajo tiene como objetivo desarrollar un modelo suelo-paisaje para la planificación ambiental en la microcuenca del río Zarzales, estado Mérida-Venezuela. El modelo partió de un enfoque holístico, sistémico y multiescalar, en el que se combinó la caracterización fisiográfica y geomorfológica mediante fotointerpretación, la superposición de mapas temáticos y la observación directa en campo. Las unidades suelo-paisaje fueron delineadas en función de la litología, pendiente, zonas de vida, forma predominante del terreno y el balance pedogeomorfológico de cada unidad. Las propiedades de los suelos se estudiaron por medio de un muestreo en transectos, combinado con mediciones libres, y los resultados fueron almacenados en un Sistema de Información Geográfica (SIG), para su posterior uso en la planificación ambiental.

La cuenca como sistema consta de dos subsistemas diferenciados en base a la litología, principal responsable de la configuración y evolución de los suelos. Se definieron 9 componentes del sistema suelo-paisaje, de las cuales se delinearon 67 unidades. Especialmente, la unidad más relevante es la Vertiente de Caída (67% de la superficie total), mientras que la de menor relevancia es la Planicie Aluvial Reciente (0,4% de la superficie total). A nivel taxonómico, predominaron los Ordenes entisoles e inceptisoles, con una notoria diferenciación a nivel de Familia, debido a los contrastes que ocurren en cuanto a granulometría y fragmentos gruesos, a través de las unidades componentes del modelo. Las unidades con mayor diferenciación fueron las Crestas, Vertientes de Esguerramiento y Reptación, y Planicies Aluviales Recientes. El modelo suelo-paisaje permite el conocimiento de los suelos en relación estrecha con el componente del paisaje dentro del cual se han formado y evolucionado, aportando información útil tanto al agricultor como al planificador; de esta forma puede optimizarse la toma de decisiones en la planificación ambiental de nuestras cuencas altas.

**Palabras clave:** unidad suelo-paisaje; balance pedogeomorfológico; suelos; cuencas altas.

\* Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Mérida- Venezuela. E-mail: jmejia@forest.ula.ve; mvera@forest.ula.ve

## Abstract

The soil-landscape relationship was taken as an approach to study the soils which are formed as the results of biophysics and anthropics factors in time, which confers to the soil a particular identity within the landscape. The objective of this work is the development of a soil- landscape model in Zarzales river watershed, Mérida-Venezuela, for environmental planning. The model was based on an integral, systematic and multiple-scale analysis, combining physiographical and geomorphological characteristics obtained by photointerpretation, overlapping maps, and direct observation in the field. Soil - landscape units were determined according to its lithology, slope, bioclimatic zones (Holdridge), and predominant landforms. Pedogeomorphological balance was also determined for each unit. Soil properties were analyzed using transect sampling, combined with free survey; the results were stored in a Geographical Information System (GIS). The watershed as a system has two different sub-systems, clearly identified by its lithology, the foremost responsible for soil configuration and evolution. Nine land components were found, and 67 soil-landscape units were delineated. Spatially, Fall-Slope is the most important unit (67% of total surface) as long as Recent Aluvial Plain is the less important unit (0,4% of total surface). With regard to soil taxonomy, entisols and inceptisols are predominant; there is a well known differentiation at family level, because of evidence of contrasts in grain-size distribution and coarse fragment contents. Units with the largest differentiations are: Broad Crests, Creep Slopes and Recent Aluvial Plains. The soil-landscape model leads to a better knowledge of soils closely related to land components where they have been formed and evolutionated, and it brings useful information to planners and farmers, optimizing the decision making process in environmental planning for high mountain watersheds.

**Key words:** soil-landscape unit; pedogeomorphological balance; soils; high mountain watersheds.

## Introducción

Las cuencas altas de las regiones tropicales confrontan serios problemas ambientales, derivados de una creciente intervención antrópica que tiene su origen en un vertiginoso crecimiento demográfico y un ascenso de la pobreza, dos factores característicos de las naciones en vías de desarrollo. A ello deben adicionarse factores ambientales como la agresividad climática, juventud geológica del relieve y ecosistemas altamente frágiles, los cuales en conjunto definen la vulnerabilidad hacia procesos específicos de degradación.

Por otro lado, existe un problema latente en los países tropicales respecto a la carencia o insuficiencia de información básica, lo que representa un obstáculo al establecimiento de un proceso efectivo de gestión y planificación ambiental.

Ante esta situación se hace necesaria la creación y consolidación de líneas de investigación adaptadas a la realidad local, que contribuyan a la identificación de los elementos que inciden en mayor medida sobre la problemática ambiental y social de las cuencas altas, a objeto de diseñar un plan estratégico de investigaciones prioritarias que garantice la

utilidad práctica de sus resultados. Richter et al. (1985) enfatiza la necesidad de desarrollar un enfoque práctico en los estudios de gestión de cuencas altas tropicales, como alternativa para hacer efectiva la administración de sus recursos.

Siendo el suelo y el agua los recursos naturales de mayor importancia para la humanidad, la investigación en cuencas altas deberá estar siempre orientada hacia un mayor conocimiento de los mismos, su disponibilidad, calidad, y sobre todo su vulnerabilidad a la degradación por la creciente intervención humana.

El enfoque suelo-paisaje, actual paradigma de la ciencia del suelo, permite estudiar el recurso como elemento componente del paisaje geográfico, y en donde los atributos geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y pedogenéticos pueden considerarse como procesos comunes de formación y funcionamiento de una manera integrada; ello, unido a la posición relativa de un polipédón dentro del paisaje, determinan el estado, o condición del recurso en un momento dado.

Este enfoque es puesto en práctica mediante el desarrollo de modelos suelo-paisaje, los cuales son definidos como reglas empíricas que relacionan las formas del terreno con las propiedades del suelo o sus clases, proporcionando así una descripción detallada de las interrelaciones entre el suelo y el paisaje del cual forma parte (McLeod et al., 1995).

De lo anterior se deduce que el establecimiento de un modelo suelo-paisaje no solo permitirá estudiar el recurso suelo a través de un enfoque holístico y una visión sistémica, sino que además sus resultados pueden servir de base para el desarrollo de estrategias de manejo más eficientes, en los procesos de planificación de los recursos naturales, lo cual ha sido enfatizado en diferentes investigaciones (Reiske, 1966; Chartres, 1982; Agbu et al., 1989; Nizeyimana y Bicki, 1992; Fritsch y Fitzpatrick, 1994; Mcleod et al., 1995; Rijkse y Trangmar, 1995).

En este sentido, el presente trabajo tiene como objetivo desarrollar un modelo suelo-paisaje que sirva como instrumento básico para la planificación ambiental de cuencas altas, tomando como caso particular de estudio la microcuenca del río Zarzales, estado Mérida.

## **Descripción del área de estudio**

La microcuenca del río Zarzales se encuentra ubicada en la parte superior izquierda del río Mocotíes, jurisdicción del municipio Rivas Dávila del estado Mérida (Figura 1). Se localiza entre las coordenadas 08°09'27" y 08°13'27" de latitud norte y 72°55'22" y 72°59'34" de longitud oeste. Tiene una superficie aproximada de 2500 ha, de las cuales aproximadamente 680 forman parte del Parque Nacional Juan Pablo Peñaloza.

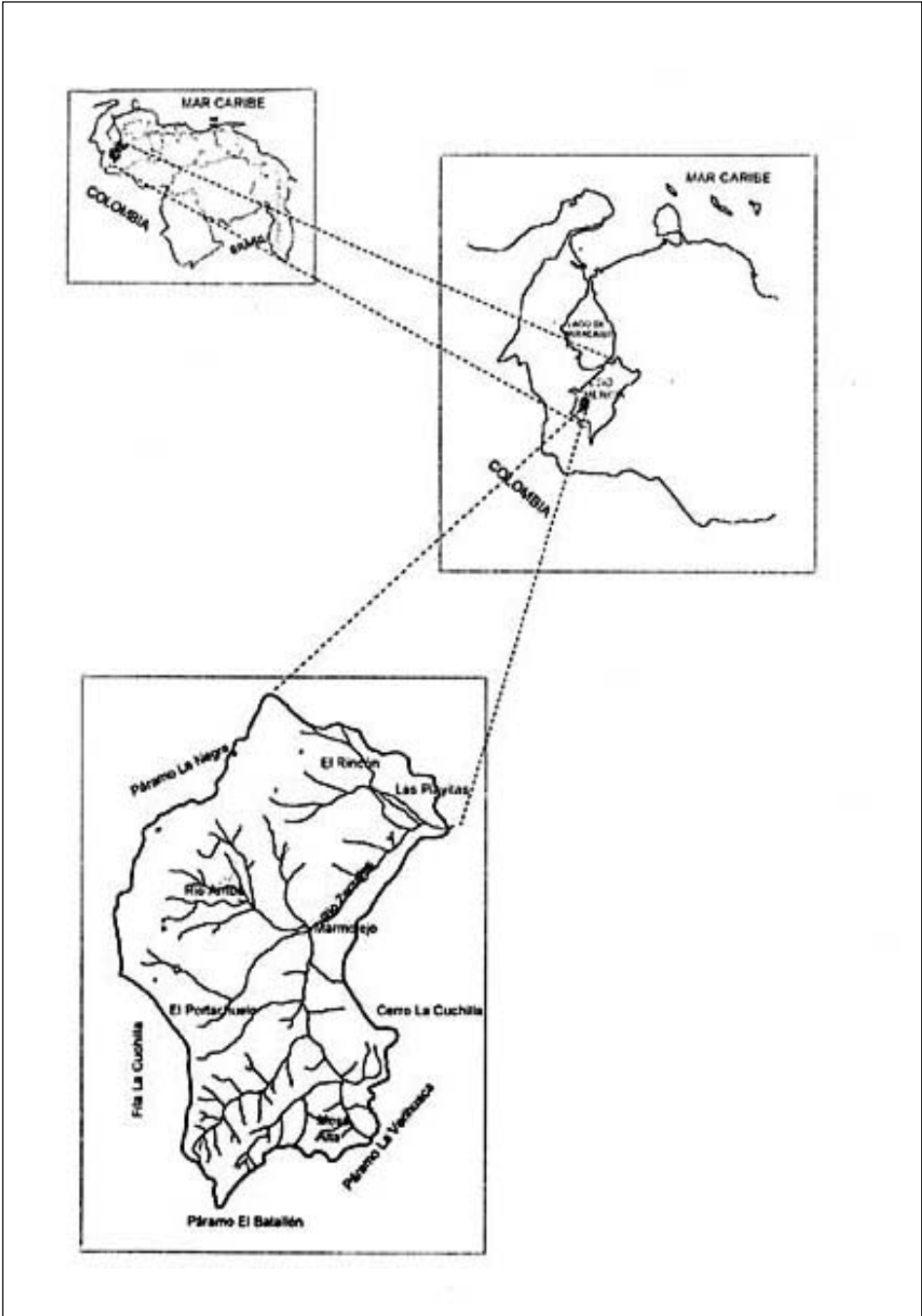


Figura 1. Ubicación del área de estudio

El relieve se caracteriza por un predominio de laderas fuertemente disectadas, en donde las pendientes oscilan entre 20 – 60%; en una menor proporción se observan valles muy estrechos en los que aparecen depósitos cuaternarios coluvio-aluviales, con pendientes más suaves. La litología y la actividad tectónica han contribuido a la diferenciación espacial del relieve en ambas vertientes. La vertiente izquierda presenta el mayor rango altitudinal y se encuentra dominada por un conjunto de fallas que la atraviesan en sentido NE–SO, cuyas evidencias son muy notorias, y con rasgos de actividad periglacial en su parte superior; la vertiente derecha, de menor rango altitudinal, presenta un relieve masivo de crestas suavizadas, y con una mayor estabilidad fisiográfica.

La geología está dominada por granitos, esquistos y gneises de la formación Sierra Nevada (Peis), la cual ocupa la margen derecha de la microcuenca; estas rocas presentan el mayor grado de metamorfismo y alteración en el área, hecho favorecido por la actividad tectónica; en la margen izquierda aparecen filitas y pizarras de color negro a verde oscuro de la formación Mucuchachí (Cm), con bajo grado de metamorfismo, y cuyo sentido de foliación favorece la ocurrencia de movimientos en masa (Quintero, 1996).

Por su ubicación altitudinal se distinguen tres zonas bioclimáticas bien diferenciadas: páramo, bosque húmedo montano y bosque seco montano bajo. El clima corresponde al tipo h de

Köppen, definido como clima de montaña, con un régimen bimodal de las precipitaciones durante el año; la precipitación anual promedio es de 660 mm anuales, con una temperatura media de 15.4 °C. La evapotranspiración potencial supera a la precipitación la mayor parte del año por lo que el riego es una práctica necesaria para la agricultura, actividad predominante en el área.

A partir de la década de los ochenta, la actividad agrícola se ha intensificado, tanto en las zonas relativamente planas del fondo de valle como en las vertientes, lo cual en conjunto con las técnicas de producción asociadas han generado diversos procesos de degradación de suelos y aguas con importantes repercusiones de tipo social, económico y ambiental, posiblemente derivados del desconocimiento y/o aplicación de prácticas de manejo no adecuadas a la naturaleza y propiedades de los suelos en el área.

## Desarrollo metodológico

El estudio fue desarrollado por medio de un enfoque integral, holístico, multiescalar y sistémico, en el que fueron consideradas un conjunto de variables físico naturales, de cuyo funcionamiento integrado se deriva la conformación del espacio como un sistema global de paisajes, que posee un patrón o estructura pedológica definida en cuanto a forma, tamaño y distribución espacial

de los cuerpos de suelo que lo conforman, y en donde la existencia de diversas categorías de abstracción, permiten identificar en su interior diversos subsistemas, que a su vez se componen de un conjunto de unidades suelo-paisaje, entidades básicas o elementales de ese sistema.

### **Selección del nivel de abstracción y la escala de representación**

La primera aproximación al análisis del paisaje como sistema es la identificación y delineación de sus componentes, lo cual implica su ubicación dentro de una escala jerárquica que permita: (1) categorizarlo a través de una estructura predefinida, (2) identificar los elementos que permitirán su análisis a un nivel de complejidad específico, y (3) predecir las relaciones que pueden establecerse dentro del sistema, entre cada uno de sus componentes. El Cuadro 1 muestra diversos esquemas o estructuras de categorización del sistema suelo-paisaje recopilados por Elizalde y Jaimes (1989) y De Bolós (1992), mientras que el Cuadro 2 contiene los criterios geomorfológicos definidos para cada nivel de abstracción, según el sistema de clasificación de Elizalde y Jaimes (1989). La selección del nivel de abstracción y la escala de representación, depende de tres elementos fundamentales:

- a. los objetivos planteados en la investigación.
- b. superficie del área de estudio.
- c. escala del material cartográfico y aerofotográfico disponible.

Con base en lo anterior, las escalas de trabajo estuvieron sujetas a la naturaleza del enfoque utilizado y a la información disponible, por lo que éstas variaron dentro del procedimiento metodológico de desarrollo del modelo, entre 1:15.000 para la fotointerpretación, y menos de 1:5.000, para las observaciones directas en campo. Esto se corresponde con los niveles de abstracción 6, 7 y 8 de Elizalde (Cuadro 1), y permitió caracterizar el sistema paisaje de acuerdo a los criterios que aparecen en el Cuadro 2.

### **Definición del modelo suelo-paisaje**

La definición del modelo se efectuó a través de tres etapas estrechamente relacionadas, diferenciadas en cuanto al nivel de detalle y escala de trabajo utilizados; la Figura 2 ilustra el procedimiento seguido en la delineación de las unidades suelo-paisaje, en el que se observa la importancia de la fotointerpretación como proceso básico para el reconocimiento y delineación de las unidades componentes del modelo.

#### **I Etapa. Nivel básico**

Esta etapa comprendió el proceso de interpretación de fotos aéreas del área a escala 1:15.000. A este nivel escalar el sistema puede ser estudiado a nivel de tipos de paisaje (Zinck, 1981), o bien de sistemas de tierra, según Concacher y Dalrymple (1977) (citados por Elizalde y Jaimes, 1989) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Correspondencia entre escalas de representación y niveles de abstracción entre algunos sistemas de clasificación de paisajes

| Escala de Representación | Christian y Stegward (1953) | Frelle (1962)            | Tricart (1966) | Bertrand (1968) | Concacher y Dalrymple (1977)      | Steegmayer y Bustos (1980) | Zinck (1981)             | Elizalde (1983) | De Bolós (1992)   |
|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------|
| Menor a 1:100.000.000    | -                           | -                        | 1              | -               | -                                 | -                          | -                        | -               | -                 |
| Aprox. 1:100.000.000     | -                           | -                        | 2              | -               | -                                 | -                          | -                        | -               | -                 |
| Aprox. 1:30.000.000      | -                           | -                        | -              | -               | -                                 | -                          | -                        | 1               | -                 |
| Aprox. 1:10.000.000      | -                           | Provincias Fisiográficas | 3              | -               | -                                 | -                          | Provincias Fisiográficas | 2               | -                 |
| Aprox. 1:2.000.000       | -                           | Regiones Fisiográficas   | 4              | -               | -                                 | -                          | Regiones Naturales       | 3               | -                 |
| 1:1.000.000              | -                           | -                        | -              | Zona            | -                                 | -                          | -                        | -               | I. Zona           |
| 1:500.000                | Sistema de tierra           | Unidades Fisiográficas   | 5              | Dominio         | -                                 | Sistemas de Relieve        | -                        | 4 y 5           | II. Dominio       |
| 1:100.000                | -                           | -                        | -              | Región Natural  | -                                 | Unidades de Relieve        | -                        | -               | III. Megageocora  |
| 1:50.000                 | -                           | -                        | -              | Comarca         | -                                 | -                          | -                        | -               | IV. Macrogeocora  |
| 1:25.000                 | Facetas                     | -                        | -              | Geosistema      | Sistema de Tierra                 | Formas y/o Posiciones      | Tipos de Paisaje         | 6               | V. Mesogeocora    |
| 1:10.000                 | -                           | -                        | -              | Geofacies       | Cuencas y Catenas                 | -                          | Tipos de Relieve         | 7               | VI. Geocora       |
| 1:10.000                 | Elementos                   | -                        | 6              | -               | Unidades Superficiales de Terreno | -                          | Formas del Terreno       | 8               | VII. Microgeocora |
| 1:5.000                  | -                           | -                        | 7              | -               | Unidades Superficiales de Terreno | -                          | -                        | -               | VIII. Nanogeocora |
| Menor a 1:5.000          | -                           | -                        | 8              | Geotopo         | Unidades Superficiales de Terreno | -                          | -                        | -               | -                 |

Fuente: Jaimes, 1985 - De Bolós, 1992.

Cuadro 2. Criterios de delineación geomorfológica definidos para cada nivel de abstracción (Elizalde y Jaimes, 1989)

| Nivel | Escala de representación aproximada | Criterios de separación   |
|-------|-------------------------------------|---|
| 1     | 1:30.000.000                        | Petrología  |
| 2     | 1:10.000.000                        | Distribución geográfica, petrología, estructura geológica, estratigrafía y tipo de relieve general.   |
| 3     | 1:2.000.000                         | Distribución geográfica, configuración topográfica, grupos de formaciones geológicas afines, sedimentos de cuencas complejas.   |
| 4     | 1:300.000                           | Igual al anterior, pero con más detalles.   |
| 5     | 1:125.000                           | Litoestratigrafía a nivel de formaciones geológicas o sistemas aluviales de orden elevado provenientes de cuencas de ablación homogéneas u otros sistemas sedimentarios extensos. Separación de formaciones superficiales extensas. |
| 6     | 1:25.000                            | Configuración del terreno, pendiente general, condiciones bioclimáticas, génesis de las formas.   |
| 7     | 1:10.000                            | Configuración del terreno, alturas relativas, líneas divisorias de aguas, patrones de drenaje superficial, expresión de la estructura geológica, génesis de las formas.   |
| 8     | 1:10.000                            | Petrografía de los materiales que constituyen las formas, estructura geológica de los mismos, posición estratigráfica, tectónica, perfil topográfico, génesis de las formas.  |

En primer término se identificaron y delinearon los elementos básicos (delimitación del área, red de drenaje, red vial). Se analizaron aspectos importantes del paisaje como la vegetación, los usos de la tierra y su evolución temporal y espacial, para luego efectuar un análisis del relieve; dentro de este último las diferencias morfológicas superficiales permitieron identificar y separar las principales unidades geológicas presentes en el área.

Se realizó una delineación de unidades genéricas componentes del modelo, con base en el modelo establecido por Rijkse y Trangmar

(1995). De esta forma fueron identificados los componentes: Crestas anchas (Cr), Vertientes (V) y Fondo de Valle (FV) (Figura 2).

Por último, el análisis de la tectónica permitió delinear unidades particulares formadas a partir de la acción del conjunto de fallas presentes, identificadas como Depresiones Tectónicas (Dp).

## II Etapa. Nivel medio de detalle

En esta etapa se hizo un análisis más detallado del sistema y su composición interna. Para ello, la información producida en la etapa anterior fue



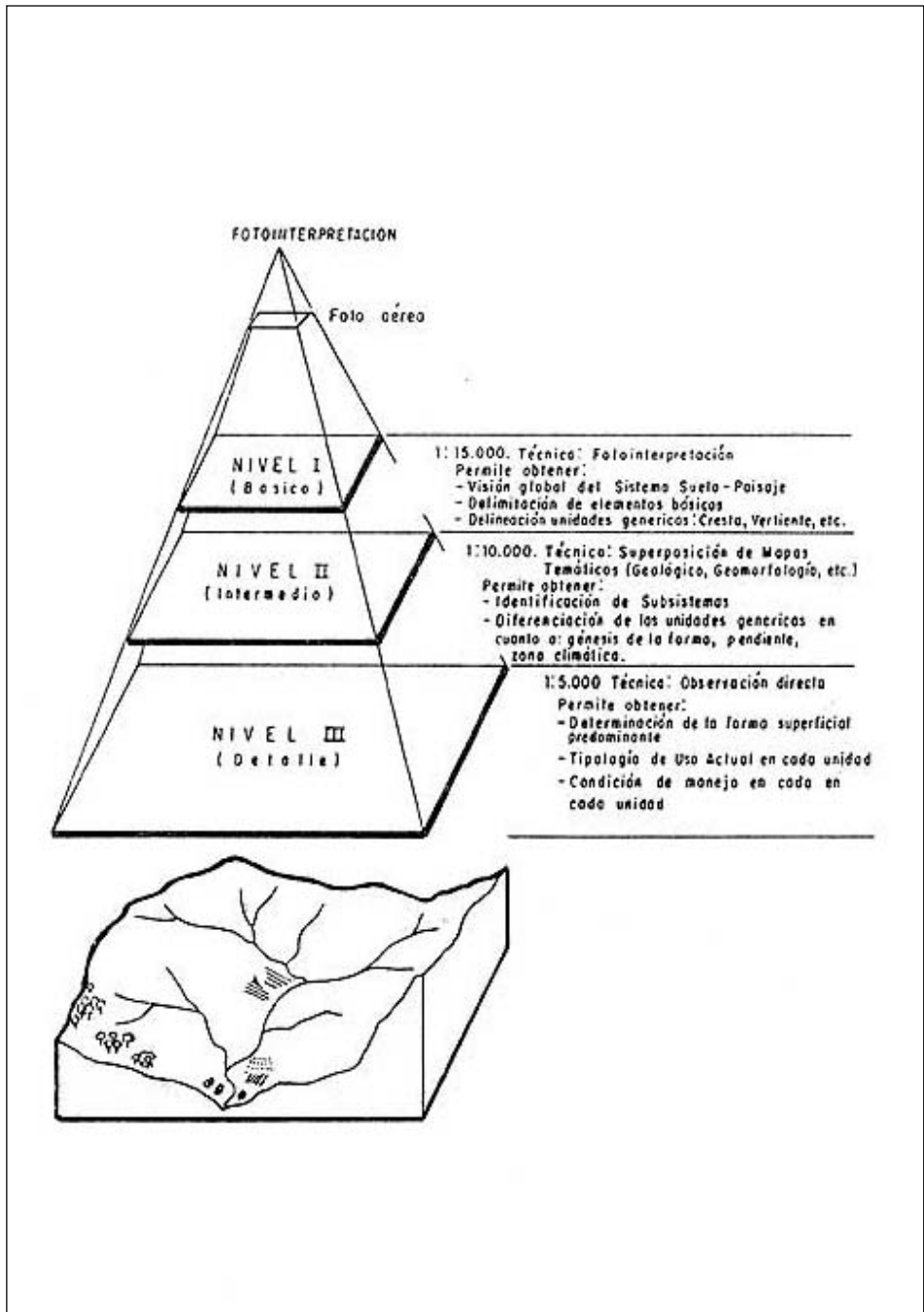


Figura 2. Esquema metodológico para la definición del modelo suelo-paisaje

vaciada en un mapa a escala 1:10.000. Dicho mapa fue luego relacionado con los mapas geológico, geomorfológico, de pendientes y bioclimático (Zonas de Vida según Holdridge), por medio de superposición cartográfica manual. La distinción claramente observable entre las unidades geológicas, conllevó al establecimiento de 2 subsistemas suelo-paisaje, bajo el supuesto de que las diferencias litológicas son determinantes de la evolución y comportamiento de los suelos: El subsistema Z-1, conformado por el sector ubicado sobre materiales de la Formación Mucuchachí (Cm) y el subsistema Z-2, conformado por las unidades ubicadas sobre materiales de la Formación Sierra Nevada (Peis).

Por ocupar una superficie mucho menor en relación con los dos subsistemas anteriores, las acumulaciones cuaternarias fueron incluidas en ambos subsistemas, dependiendo de la predominancia del material de origen.

La superposición con el mapa de pendientes permitió diferenciar la componente Vertiente (V) en: Vertientes de escurrimiento y reptación (Ver), Vertientes de caída o coluvionamiento (Vc) y Vertientes de sedimentación coluvial (Vsc); con el fin de lograr una mayor rigurosidad en el modelo, las Vertientes de caída fueron internamente diferenciadas por el valor de la pendiente predominante.

La superposición con el mapa bioclimático, permitió ubicar las diferentes unidades suelo-paisaje en las Zonas de Vida según Holdridge,

presentes en el área: Páramo, Bosque Húmedo Montano y Bosque Seco Montano Bajo.

Finalmente, el mapa geomorfológico permitió diferenciar las unidades de acumulación y el Fondo de Valle, para diferenciar las componentes en cuanto a la génesis de la formas: Conos de Detritos (Cd), Terrazas (Tr), Planicie aluvial reciente (Par) y Vega fluvial actual (Vfa).

### **III Etapa. Nivel alto de detalle**

Este nivel se ejecutó con base en la observación directa en campo, para determinar en primer lugar: los cambios en el uso de la tierra y el análisis de algunos perfiles expuestos. En lo que respecta al modelo, la observación directa permitió la identificación de la forma superficial predominante en cada unidad, de manera que las unidades componentes fueron nuevamente diferenciadas en cuanto a: (a) Forma cóncava, (b) Forma convexa, y (c) Forma plana. De igual manera permitió determinar el tipo de uso al que se encuentra sometida y las condiciones de manejo, en unidades bajo uso agrícola; en algunos casos pudo verificarse la condición actual de los cultivos.

Tales observaciones permitieron determinar, cualitativamente, los procesos pedogeomorfológicos que predominan en cada unidad componente del modelo, tomando como base los criterios establecidos por Elizalde y Jaimes (1989). El Cuadro 3 ilustra las relaciones entre las unidades pedogeo-

Cuadro 3. Procesos pedogeomorfológicos y unidades de terreno

| Unidades Pedogeomorfológicas |   | Procesos Pedogeomorfológicos             |                                 |                            |
|------------------------------|---|--|---------------------------------|----------------------------|
| Nº                           | Denominación                              | Balance                                  | Dominancia relativa de procesos |                            |
| 1                            | Interfluvio Aplanado                      | $(MV > MH) \gg S \dot{z} D$              | Pedogénesis                     | Alteración                 |
| 1                            | Interfluvio Convexo                       | $(MV - MH) > S < D$                      | Pedogénesis                     | Alteración                 |
| 2                            | Pendiente de Escurrimiento                | $(MV > MH) > S \dot{z} D$                | Pedogénesis                     | Alteración                 |
| 3                            | Pendiente de Reptación                    | $(MV > MH) > S = D$                      | Morfogénesis                    | Equilibrio morfogenético   |
| 4                            | Escarpe o Talud                           | $(MV < MH) < S \ll D$                    | Morfogénesis                    | Denudación                 |
| 5                            | Pendiente de Sedimentación Coluvial       | $(MV > MH) < S \gg D$<br>$(MV > MH) > D$ | Morfogénesis                    | Sedimentación              |
| 6                            | Pendientes de Aluvionamiento no encauzado | $(MV > MH) = S = D$                      | Morfo-pedogénesis               | Equilibrio morfopedológico |
| 7                            | Pendientes aplanadas con o sin disección  | $(MV > MH) > S \dot{z} D$                | Pedogénesis                     | Alteración                 |
| 8                            | Cubeta de planicie aluvial antigua        | $(MV > MH) < S \gg D$                    | Morfogénesis                    | Sedimentación              |
| 9                            | Napa de aluvionamiento antigua            | $(MV = MH) = S = D$                      | Morfo-pedogénesis               | Equilibrio morfopedológico |
| 10                           | Eje de planicie aluvial antigua           | $(MV > MH) > S < D$                      | Pedogénesis                     | Alteración                 |
| 11                           | Napa de aluvionamiento reciente           | $(MV = MH) = S = D$                      | Morfo-pedogénesis               | Equilibrio morfopedológico |
| 12                           | Cubeta de planicie aluvial reciente       | $(MV > MH) < S \gg D$                    | Morfogénesis                    | Sedimentación              |
| 13                           | Eje de planicie aluvial reciente          | $(MV > MH) - S < D$                      | Morfogénesis                    | Sedimentación              |
| 14                           | Vega actual de curso fluvial              | $(MV \ll MH) \ll S > D$                  | Morfogénesis                    | Sedimentación              |

Leyenda: MV = Movimiento vertical de agua; MH = Movimiento horizontal de agua; S = Sedimentación; D = Denudación

Fuente: Tomado de Elizalde y Jaimes, 1989

morfológicas y los procesos pedogeomórficos predominantes, utilizada en este caso para predecir la tipología de procesos y el balance que entre ellos puede eventualmente persistir en cada unidad suelo-paisaje.

### Trabajo de campo y laboratorio

El trabajo de campo incluyó la realización de un reconocimiento general del área, el chequeo y actualización de la cartografía. En una segunda fase se llevaron a cabo observaciones de comprobación en perfiles expuestos, a

fin de determinar la continuidad de las unidades en delineación, para luego entrar en la fase de observación directa (Etapa 3) del proceso de definición del modelo.

La tercera fase del trabajo de campo correspondió al muestreo de los suelos. Dadas las características del estudio, se escogió el muestreo por transectos al azar como el método más idóneo para regiones montañosas de difícil accesibilidad, ya que permite cubrir distintas unidades suelo-paisaje en forma simultánea, reduciendo así la posibilidad

de muestras sesgadas por un lado, y de replicas innecesarias, por otro (Cortés y Malagón, 1983). Este método fue combinado con mediciones libres o muestreo libre (Bell et al., 1994; Rijkse y Trangmar, 1995; McLeod et al., 1995), con la finalidad de cubrir algunas unidades excluidas de los transectos definidos, dada la heterogeneidad espacial existente.

La recolección de información de los suelos se efectuó mediante observaciones detalladas (Cortés y Malagón, 1983), las cuales consistieron de la apertura de hoyos de aproximadamente 50 cm de diámetro y 50 cm de profundidad; la sección más profunda del perfil se observó con ayuda del barreno en algunos sitios, ya que la alta pedregosidad restringió notablemente este proceso.

Las muestras fueron procesadas en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales de la Universidad de Los Andes, en donde se efectuaron los análisis físicos y químicos, a través de los métodos rutinarios utilizados en esta dependencia. Los análisis físicos incluyen: Volumen de Fragmentos Gruesos (Método de Alexander), Densidad Aparente (Método del terrón parafinado), Textura y Granulometría (Método de Bouyoucos), Retención de Humedad a 33 KPa y 1500 Kpa (Método de Richards). Los análisis químicos incluyen: pH (Método potencio-métrico), M.O (%) (Método Walkley- Black), Nitrógeno (Método de Kjeldhal), Fósforo

disponible (Método Kurt Bray/Colorimétrico), Acidez Intercambiable (Método de Yuan), Capacidad de Intercambio Catiónico (Extracción con acetato de amonio), y Bases Cambiables (Espectrofotometría de absorción atómica).

### **Cartografía digital del modelo**

La cartografía digital fue preparada en el Laboratorio ULABSIG del Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales de la Universidad de Los Andes. Se utilizó el software ARC/INFO para la digitalización y corrección de los mapas, mientras que la fase de creación y edición de los mapas definitivos se hizo por medio del software ARC VIEW GIS versión 3.0, compatible con ARC/INFO.

## **Resultados y discusión**

El sistema suelo-paisaje de la microcuenca del río Zarzales presenta dos subsistemas, diferenciados por la acción conjugada de factores geológicos (tectónica y litología), geomorfológicos, topográficos (altitud, forma y orientación), climáticos y antrópicos.

El subsistema Z-1 localizado en la margen izquierda del río, está influenciado por la Formación Mucuchachí, cuyas características estructurales y litológicas, en conjunto con la actividad tectónica pretérita, han dado origen a un paisaje morfológicamente más diverso.

La litología compuesta de filitas y pizarras implica la presencia de una mayor proporción de fracción arcillosa,

hecho que pudiese estar favorecido por una mayor disponibilidad de energía solar debido al factor exposición (vertiente de solana); este hecho puede facilitar los procesos de alteración de los materiales litológicos, traduciéndose en una mayor ocurrencia de movimientos en masa y, por ende, existe una mayor proporción de suelos arcillosos.

Por sus diferencias altitudinales, presenta tres pisos bioclimáticos o zonas de vida: páramo (la mayor proporción de toda la microcuenca), bosque húmedo montano y bosque seco montano bajo. No obstante, por su orientación NE-SO, ésta constituye una superficie de solana, con lo cual la estructura y composición florística de la vegetación es más simple que en la margen opuesta, con la presencia de una considerable extensión de pastos y matorrales.

Tal diversidad paisajística, en combinación con las condiciones antes descritas, ha tenido sus implicaciones en el proceso de ocupación humana y, por tanto, en el nivel de intervención del sistema paisaje. Es así como este subsistema presenta un mayor grado de intervención, así como una mayor diversidad en cuanto al tipo e intensidad del uso de la tierra, hecho este que ha contribuido con la mayor diversificación del paisaje en este subsistema.

El subsistema Z-2 comprende la margen derecha del río, bajo la influencia de la formación Sierra Nevada, cuya litología se refleja en un paisaje morfológicamente menos heterogéneo. La litología consta

fundamentalmente de granitos, esquistos y gneises, cuya facilidad a la alteración se traduce en la presencia de suelos más profundos, y con una matriz predominantemente arenosa. Con una mayor limitación espacial para la ocupación humana, los consecuentes usos de la tierra se circunscriben a aquellas unidades de menor pendiente, ubicadas en la parte baja del subsistema.

Con un rango altitudinal menor, la formación vegetal paramera es muy reducida, mientras que su orientación SO-NE implica una menor disponibilidad de energía solar y, por ende, la presencia de una cobertura boscosa más extensa, de mayor densidad, diversidad florística y tamaño.

Por su orientación topográfica se corresponde con la superficie de umbría, lo cual tiene una incidencia en una actividad humana menos intensa y menos diversa que en el subsistema opuesto.

El modelo suelo-paisaje definido para la microcuenca del río Zarzales consta de nueve (9) componentes en ambos subsistemas, las cuales responden a la configuración espacial y la morfopedogénesis propia de las cuencas altas montañosas tropicales. El Cuadro 4, contiene las componentes del modelo, el número de unidades delimitadas y la superficie total que cada componente ocupa. La Figura 3 muestra la distribución espacial de las unidades componentes del modelo, en donde puede observarse que la unidad más importante, en términos espaciales, es la

Cuadro 4. Modelo suelo-paisaje definido para la microcuenca del río Zarzales

| Unidad suelo-paisaje                         | Nº de unidades delimitadas | Superficie total(ha) | Superficie total(%) |
|--|----------------------------|----------------------|---------------------|
| Lomos de cresta anchos (Cr)                  | 10                         | 90,2                 | 4,0                 |
| Depresión tectónica (Dp)                     | 12                         | 63,94                | 3,0                 |
| Vertiente de escurrimiento y reptación (Ver) | 7                          | 338,84               | 14,0                |
| Vertiente de caída (Vc)                      | 13                         | 1569,87              | 67,0                |
| Vertiente de sedimentación coluvial (Vsc)    | 10                         | 95,84                | 4,0                 |
| Cono de detritos (Cd)                        | 4                          | 146,94               | 6,0                 |
| Planicie aluvial reciente (Par)              | 2                          | 8,80                 | 0,4                 |
| Terraza (Tr)                                 | 6                          | 26,98                | 1,0                 |
| Vega fluvial actual (Vfa)                    | 3                          | 11,84                | 0,5                 |
| Total  | 67                         | 2353,25              | 100                 |

Vertiente de caída (Vc), la cual ocupa una superficie de 1569,87 ha. (67% de la superficie total), seguida por la Vertiente de escurrimiento y reptación (Ver), con 338.84 ha. (14% de superficie total), y por los Conos de detritos (Cd), con un 146.94 ha. (6% de superficie total). La unidad con menor superficie en el área es la Planicie aluvial reciente (Par), con una extensión de 8.80 ha., lo cual representa tan solo un 0.4% de superficie total.

### **Descripción de las unidades componentes del modelo**

#### *Lomos de cresta anchos (Cr)*

Constituyen formas representativas de las partes superiores del sistema de paisaje montañoso, específicamente de

las cimas y coinciden en muchos casos con la divisoria topográfica de una cuenca. Rijkse y Trangmar (1995) y McLeod et al. (1995) definen estas unidades en función de las dimensiones de su superficie (> 30 m de ancho), simplemente para separarlas de las Crestas filosas o agudas. Son identificadas por estos autores como las unidades de mayor estabilidad dentro del sistema suelo-paisaje montañoso.

Aunque las Crestas suelen asociarse con relieves menos abruptos, en el área fueron identificadas 10 unidades, en su mayoría relacionadas con la Formación Sierra Nevada (Peis). Si bien estas unidades se asocian a las divisorias de cuencas, en la microcuenca estudiada se localizan algunas crestas sobre los ramales montañosos internos, incluso en

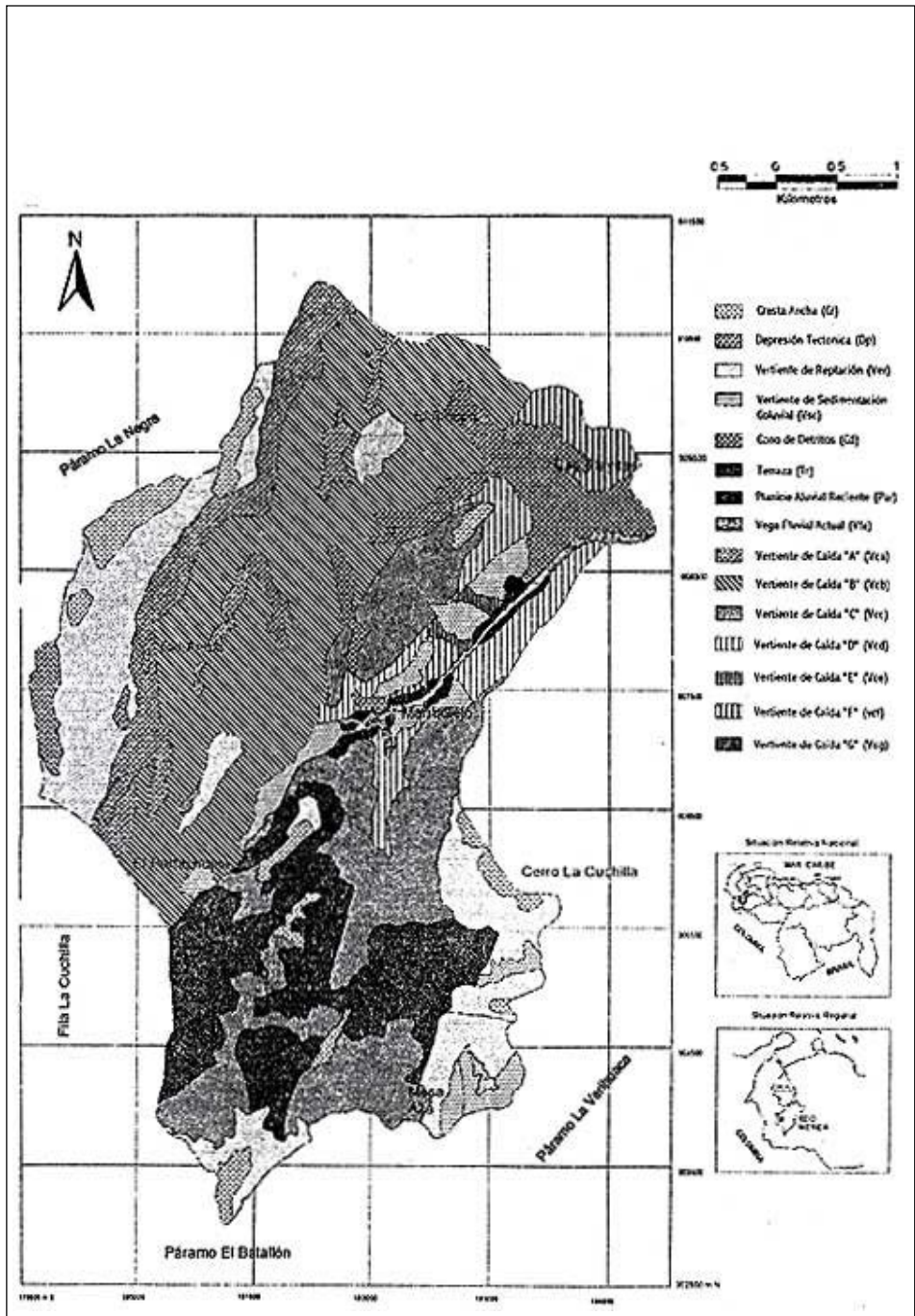


Figura 3. Unidades suelo-paisaje de la microcuenca del río Zarzales

zonas cercanas a la parte baja. Se caracterizan por presentar pendientes suaves, entre 0 y 10%, forma superficial predominantemente convexa y suelos relativamente profundos, por lo que algunas de estas unidades se encuentran intervenidas, bajo uso agrícola intensivo.

La dinámica morfopedogenética de estas unidades está dada por una dominancia relativa de los procesos de alteración y pedogénesis, con respecto a la sedimentación y denudación; ello se debe a la acción ejercida por el movimiento de agua dentro del suelo, predominantemente de tipo vertical, lo cual favorece el intemperismo interno y a su vez limita la escorrentía superficial y la consiguiente denudación por erosión. La dinámica uniforme de los flujos de agua dentro de estas unidades se traduce en una gran uniformidad de los suelos, cuyo espesor estará en función del grado de resistencia y permeabilidad del material, lo que explica su identificación como unidades de gran estabilidad.

La diferencia litológica entre ambos subsistemas se manifiesta en suelos diferentes en términos evolutivos. Los suelos de las crestas del subsistema Z-1 presentan un menor grado de evolución dada la resistencia de las filitas y pizarras de la Formación Mucuchachí, con un horizonte A de muy escaso desarrollo y un horizonte C caracterizado por un alto contenido de fragmentos gruesos; mientras tanto en el subsistema Z-2 los granitos y esquistos de la Formación Sierra Nevada han dado origen a suelos

arenosos más permeables, en los que el horizonte A presenta un considerable desarrollo, expresado en su profundidad, y presencia de horizontes de alteración (Bw) de menor espesor que descansan sobre un horizonte C más profundo; en estos suelos los contenidos de fragmentos gruesos son muy bajos, dada la susceptibilidad del material al intemperismo físico.

#### *Depresiones tectónicas (Dp)*

Las Depresiones tectónicas, formadas por la actividad tectónica, se localizan a lo largo del subsistema Z-1, dispuestas en forma paralela a las líneas de falla, dentro de las vertientes de topografía más accidentada.

Dada su ubicación relativa, estas unidades son dominadas por los procesos que ocurren en las unidades suprayacentes – Crestas y Vertientes –, actuando como receptoras de los flujos de materia y energía que circulan por efecto de la gravedad, lo que determina un balance pedogeomorfológico dominado fundamentalmente por procesos de morfogénesis y sedimentación. La presencia de lagunas y pantanos es fiel indicador de la confluencia de flujos de agua que implican también la concentración de elementos y partículas del suelo, además de materiales coluviales.

Aunque no fueron estudiados sus suelos en detalle, éstos presentan una condición de hidromorfía, y son de bajo desarrollo evolutivo, con una morfología definida por dos horizontes (A-C), en



donde el horizonte A presenta un mayor espesor respecto a las crestas, con un considerable volumen de fragmentos gruesos en todo el perfil y una marcada estratificación de materiales, reflejo de la dinámica de las unidades suprayacentes. Las Depresiones tectónicas se localizan mayormente dentro del Páramo Pluvial Subalpino y en los límites con el Bosque Húmedo Montano, por lo que están cubiertas con una vegetación propia de este tipo bioclimático (arbustos y matorral). La pendiente dentro de estas unidades oscila entre 0 y 15% aproximadamente y, naturalmente presentan una forma predominantemente cóncava.

*Vertientes de escurrimiento y reptación (Ver)*

Este tipo de unidades se extiende a través de los bordes de las crestas y divisorias topográficas, constituyendo una zona de transición entre las crestas y las vertientes abruptas. Sin embargo, tal como lo establecen Elizalde y Jaimes (1989), esta unidad puede también aparecer en la parte inferior de las vertientes, en donde las pendientes establezcan una diferenciación en cuanto a la dinámica de los flujos de materia y energía, y por consiguiente, determinen un rasgo morfológico y pedogenético distintivo.

El factor fundamental que determina esta unidad es la pendiente, la cual puede oscilar entre 10 y 15%; esto hace que aún predominen la alteración y la pedogénesis sobre los demás procesos, aunque

aquí el movimiento vertical de agua dentro del suelo –aún apreciable– adquiere una importancia menor que en las dos componentes anteriores, y el flujo lateral u horizontal comienza a ser significativo. Los procesos de erosión y sedimentación tienden a ocurrir con un grado de magnitud similar, de manera que, eventualmente puede existir una situación de equilibrio morfopedogenético (Elizalde y Jaimes, 1989). Estas unidades son virtualmente dominadas por los procesos que ocurren en las Crestas o en las Vertientes de caída (según sea su posición). Los suelos de estas unidades presentan diferencias en cuanto a su composición y desarrollo evolutivo; en el subsistema Z-1 persisten las condiciones incipientes de los suelos, y se observa un ligero incremento del contenido de fragmentos gruesos en el horizonte C, indicativo de la acción inicial del proceso de transporte de materiales por acción del agua y la gravedad.

En el subsistema Z-2 el proceso de transporte es menos intenso, como se evidencia en un aumento en profundidad de los horizontes A y B, con cantidades apreciables de arcilla que generalmente definen un horizonte argílico en este último; esta arcilla puede resultar de la alteración in situ, o bien ser resultado de un proceso de transporte desde las unidades suprayacentes. Por otra parte, existe una ligera disminución en el contenido de fragmentos gruesos en los horizontes superiores, aunque se observa un leve aumento en el horizonte C.

En el área las Vertientes de escurrimiento y reptación están circunscritas mayormente a las zonas transicionales entre las Crestas y las Vertientes de caída; sin embargo, fueron delineadas dos unidades intermedias localizadas en el subsistema Z-1, cuyos rasgos externos la identifican con la tipología planteada, y en la que se aprecia la formación de terracetos en superficie, rasgo típico de estas formas. Las primeras se localizan en la zona bioclimática de Páramo Subalpino, mientras que las segundas se ubican dentro del Bosque Húmedo Montano y se encuentran actualmente bajo pastizal y gramíneas, ya que sus condiciones topográficas han favorecido su utilización como áreas de pastoreo extensivo de ganado; la forma predominante de estas unidades es la convexidad.

#### *Vertientes de caída o coluvionamiento (Vc)*

Las Vertientes de caída o coluvionamiento constituyen las unidades más representativas de las zonas montañosas o paisajes fuertemente disectados, y generalmente las más importantes en términos espaciales. Son definidas básicamente por el factor pendiente, siendo las unidades que exhiben los mayores gradientes. En las partes superiores de las cadenas montañosas – como en este caso – las vertientes de caída poseen pendientes superiores al 20 %, superando en muchos casos el 40%.

Su forma superficial es homogénea, de inclinación constante, aunque en

algunos casos pueden existir variaciones locales, particularmente referidas a la relación concavidad/convexidad. Con lo dicho anteriormente, los criterios básicos de diferenciación corresponden a la pendiente y la forma predominante; sin embargo, dada la magnitud espacial de esta unidad, fue necesario establecer una delineación interna, a través de criterios adicionales como el material parental y la zona bioclimática. Los resultados de esta subdivisión aparecen en el Cuadro 5.

Dada su posición relativa, las Vertientes de caída pueden constituir formas dominadas por los procesos ocurridos en unidades suprayacentes, o bien ser una forma dominante, sobre las unidades de posiciones relativas inferiores a ella. El balance pedogeomorfológico en estas unidades está caracterizado por un predominio de la denudación -seguido de la morfogénesis- sobre los demás procesos; esto implica que el proceso de pedogénesis es limitado por un flujo de agua predominantemente de tipo lateral u horizontal, que favorece el arrastre y transporte de materiales hacia las posiciones más bajas del sistema. Ello las califica como unidades inestables de gran fragilidad y susceptibilidad ambiental.

Las diferencias morfológicas ya consideradas entre los suelos de los dos subsistemas se mantienen en estas unidades; en el subsistema Z-1 persiste una morfología incipiente, en donde el horizonte A se hace mucho más delgado que en los casos anteriores, sobre un

Cuadro 5.- Diferenciación de las Vertientes de caída en sub-unidades

| Sub-unidad | Material Parental | Pendiente | Zona bioclimática | Forma Predominante | Unidades Diferenciadas |
|------------|-------------------|-----------|-------------------|--------------------|------------------------|
| Vc-a       | Cm                | > 40%     | Psa               | Convexa            | Vc1                    |
| Vc-b       | Cm                | > 40%     | Bhm               | Cóncava            | Vc2                    |
| Vc-c       | Peis              | > 40%     | Bhm               | Cóncava            | Vc3,Vc9,Vc11,Vc12      |
| Vc-d       | Peis              | > 40%     | Bsmb              | Cóncava            | Vc4,Vc13               |
| Vc-e       | Peis              | 20 – 40%  | Bsmb              | Cóncava            | Vc5                    |
| Vc-f       | Peis              | 20 – 40%  | Bsmb              | Convexa            | Vc6,Vc7                |
| Vc-g       | Peis              | 20 – 40%  | Bhm               | Convexa            | Vc8,Vc10               |

horizonte C con altos contenidos de fragmentos gruesos. Los movimientos en masa que han ocurrido con mayor intensidad en este subsistema, han afectado localmente la presencia y continuidad de los horizontes diagnósticos. En los suelos del subsistema Z-2, los horizontes A y B presentan un mayor espesor, con cantidades apreciables de arcilla en este último, aunque inferiores a las encontradas en las unidades anteriores; los fragmentos gruesos aparecen en menor cantidad respecto a las unidades anteriores y su espesor varía en función de la variabilidad de la pendiente y de la forma superficial.

Las Vertientes de caída abarcan una vasta proporción de la zona bioclimática Bosque Húmedo Montano, extendiéndose también hacia el Bosque Seco Montano Bajo; un alto porcentaje de su superficie se encuentra bajo bosque natural, vegetación secundaria y pastos. Esta unidad abarca el 67 % de la superficie total de la microcuenca, siendo la unidad de mayor importancia, en términos espaciales, dentro del modelo.

#### *Vertientes de sedimentación coluvial (Vsc)*

Esta unidad se corresponde con la parte inferior de la Vertiente, en donde ha ocurrido un proceso de acumulación de materiales coluviales lo suficientemente extenso como para adquirir una fisonomía propia, que la distingue de la unidad anterior en lo relativo a la pendiente, forma superficial, estructura y funcionamiento interno.

Las Vertientes de sedimentación coluvial son unidades transicionales entre las Vertientes de caída y las unidades de acumulación aluvio – coluvial, razón por la cual son definidas como formas dominadas por las suprayacentes a éstas. Las pendientes por lo general oscilan entre 10 y 20% y se localizan entre las zonas bioclimáticas de Bosque Húmedo Montano y Bosque Seco Montano Bajo; su forma puede ser cóncava ó convexa, hecho que las diferenciará internamente de manera substancial. Dadas sus condiciones generales algunas de estas unidades se encuentran bajo uso agrícola y en

algunos casos se han establecido potreros para pastoreo extensivo.

El proceso pedogeomorfológico predominante es la sedimentación, producido por un movimiento vertical de agua cuya intensidad aumenta en la medida en que la pendiente se hace menos pronunciada. Ello permite el continuo depósito de materiales que favorecen la morfopedogénesis y genera una relativa estabilidad.

Los suelos en estas unidades suelen ser heterogéneos, debido a la acción de la percolación, los movimientos en masa y una deposición no uniforme de materiales. En el subsistema Z-1 es más evidente la influencia de los dos últimos factores, dada la inestabilidad del material litológico, lo cual se expresa en suelos con una escasa diferenciación de horizontes y con altos contenidos de fragmentos gruesos heterométricos y poco intemperizados. En el subsistema Z-2 los suelos son más profundos y de mayor anisotropía, con horizontes Bt de espesor considerable y un horizonte C de variada estratificación interna, lo que refleja una mayor evolución pedogenética de los suelos de este subsistema.

#### *Conos de detritos (Cd)*

Esta unidad resulta –al igual que las Depresiones– de la dinámica tectónica del área. Los Conos de detritos, de fácil identificación, son producto de grandes deslizamientos ocurridos en períodos geológicos muy recientes, cuyos materiales fueron depositados a lo largo de los canales de quebradas en la parte

izquierda de la microcuenca; su expresión espacial ha sido notablemente afectada por lo accidentado del relieve.

Estas unidades aparecen dispuestas en forma perpendicular a las fallas que atraviesan el área y al cauce principal del río Zarzales. La pendiente oscila entre 10 y 20%, lo cual obviamente ha facilitado su intervención y utilización con fines agrícolas, pecuarios y de asentamientos humanos. Los suelos son el resultado de grandes movimientos en masa, por lo que presentan un elevado porcentaje de fragmentos gruesos heterométricos en todo el perfil, derivado de diferentes y sucesivos procesos de acumulación de materiales coluviales; esto sugiere un continuo rejuvenecimiento de los mismos, de manera que la morfología del perfil está definida solo por dos horizontes (A-C) poco diferenciados.

Por su posición relativa esta constituye una forma dominada por las unidades de ubicación relativa superior, ya que actúa como receptora de materiales y elementos desde las posiciones anteriores, aunque la pendiente que predomina en estas unidades sugiere la ocurrencia de un transporte de elementos finos hacia las posiciones relativas más bajas. Su balance, sin embargo, está orientado hacia la sedimentación, favorecido por un significativo movimiento vertical de agua en el suelo y por el predominio de la concavidad. La sedimentación estimula la morfogénesis como proceso importante en estas unidades, responsable de su configuración y fisonomía.

En el área existen 4 unidades, las cuales se ubican en las zonas bioclimáticas de Bosque Húmedo Montano y Bosque Seco Montano Bajo.

#### *Planicie aluvial reciente (Par)*

Esta unidad de formación cuaternaria, aparece dispuesta en la parte baja de la microcuenca, a ambos lados del cauce principal del río Zarzales. Como su nombre lo indica, su formación deriva de la acumulación de materiales aluvio-coluviales en el período geológico reciente, en una superficie muy reducida, dadas las condiciones fisiográficas locales.

Se localiza dentro de la zona bioclimática Bosque Seco Montano Bajo, con una pendiente cercana a 2% y una forma predominantemente plana, haciéndola una unidad muy propicia para las actividades agrícolas, específicamente la horticultura intensiva desarrollada en la actualidad.

Por su ubicación relativa, es una forma netamente dominada, tanto por las unidades suprayacentes a ella, como por la dinámica fluvial. El movimiento vertical de agua predomina dentro del suelo, dinamizando la morfopedogénesis, a pesar de su vulnerabilidad a la acción erosiva fluvial. Los suelos de estas unidades son heterogéneos debido a la naturaleza aluvio-coluvial de los materiales que le dan origen, y la dinámica de los flujos de agua es compleja, debido a que en estas unidades convergen los flujos laterales procedentes de las vertientes, además del

ascenso frecuente del nivel freático; con ello puede inferirse que estas unidades eventualmente presenten condiciones hidromórficas, lo cual debe considerarse en la utilización de estos suelos con fines agrícolas. Los suelos en ambos subsistemas son profundos y con un perfil más evolucionado que en las unidades anteriores, en los que pueden encontrarse estratos de sedimentos aluviales, mezclados con materiales coluviales; sin embargo, en el subsistema Z-2 los suelos poseen un estrato subsuperficial más desarrollado y con mayores contenidos de arcilla. El contenido de fragmentos gruesos es bajo, en comparación con el resto de las unidades y el mayor porcentaje de éstos se presenta en los horizontes superficiales y subsuperficiales.

#### *Terrazas (Tr)*

Como ya se ha mencionado, el modelado cuaternario se ha visto restringido por una fisiografía accidentada, de manera que las terrazas delineadas (6 en total), representan una proporción muy baja de la superficie total y se ubican en la parte baja de la microcuenca, formando pequeñas planicies cuya fisonomía contrasta con las accidentadas vertientes. Se localizan dentro del Bosque Seco Montano Bajo y presentan un relieve formado por pendientes que oscilan entre 0 y 5%, con una forma superficial plana.

Por su ubicación relativa constituyen una forma dominada por las unidades superiores, específicamente las Vertien-

tes de caída y de sedimentación coluvial, de las cuales reciben importantes aportes de materiales coluviales y sedimentos que le imprimen una complejidad a su configuración interna y afectan su proceso evolutivo. El balance pedogeomorfológico en estas unidades está caracterizado por un predominio de los procesos de morfogénesis y sedimentación, derivados de un flujo de agua vertical superior al flujo lateral en el suelo.

Al igual que la unidad anterior, los suelos son el resultado de la combinación de materiales aluvio-coluviales, destacando un alto contenido de fragmentos gruesos en las terrazas del subsistema Z-1, el cual se observa a nivel de todo el perfil, aunque es significativamente mayor en el horizonte subsuperficial. La morfología en ambos subsistemas está dada por la presencia de tres horizontes (A-Bt-C), de moderado desarrollo, sobre todo el horizonte Bt, el cual presenta un espesor similar en ambos subsistemas.

Por sus condiciones fisiográficas, la totalidad de estas unidades ha sido intervenida, y son destinadas fundamentalmente a la agricultura intensiva.

#### *Vega fluvial actual (Vfa)*

La Vega fluvial comprende la superficie adyacente al lecho del río y presenta una importancia hidrológica y ecológica, por ser la superficie adyacente al lecho del río. Tiene una expresión superficial relativamente importante en la parte baja de la microcuenca, donde la

pendiente ha favorecido los depósitos fluviales y es una forma dominada por el movimiento de materiales de tipo aluvio-coluvial. En estas unidades el flujo de agua en el suelo es netamente lateral u horizontal, con el predominio de los procesos de morfogénesis y sedimentación. Los suelos en esta unidad son de desarrollo muy incipiente, debido al constante depósito de materiales por las crecidas eventuales del río, por lo que carecen de importancia para los usos relacionados con la agricultura.

#### **Clasificación taxonómica de los suelos**

Los Cuadros 6 y 7 contienen la distribución taxonómica de los suelos dentro del modelo, para cada subsistema. Como puede observarse, la distribución espacial de las unidades taxonómicas está estrechamente vinculada con la distribución de las componentes a través del modelo. En términos generales, las características más resaltantes de los suelos de la microcuenca se refieren a: (1) un bajo grado de evolución; (2) un alto grado de acidez que predomina en la mayoría de los suelos, producto de la naturaleza del material parental; (3) niveles altos en contenido de fragmentos gruesos, sobre todo en el subsistema Z-1; y (4) la diferenciación taxonómica impuesta por el uso agrícola, en algunas de las componentes del modelo.

Los órdenes que predominan en la microcuenca son los Entisoles e

Cuadro 6. Clasificación de los suelos de acuerdo a la Taxonomía del USDA (1998). Subsistema Z-1

| Unidades Suelo-Paisaje | Taxonomía de los suelos  | Perfil Representativo |
|------------------------|--|-----------------------|
| Cr                     | Ustorthents Típico Franco Grueso Acido Isomésico*<br>Argiustol Típico Franco Fino Acido Isomésico  | A – C1 – C2           |
| Ver                    | Ustorthents Típico Franco Grueso Acido Isomésico   | A – C                 |
| Dp                     | Dystrustepts Húmico Franco Esquelético Acido Isomésico   | A – C                 |
| Vc                     | Ustorthents Típico Franco Esquelético Isomésico*<br>Haplustepts Típico Franco Esquelético Acido Isomésico<br>Ustorthents Típico Franco Fino Isomésico      | A – C                 |
| Cd                     | Ustorthents Típico Franco Esquelético Acido Isomésico*<br>Dystrustepts Oxico Franco Fino Acido Isomésico<br>Ustorthents Típico Franco Fino Acido Isomésico | Ap – C                |
| Vsc                    | Dystrustepts Húmico Franco Esquelético Acido Isomésico*<br>Haplustepts Oxico Franco Fino Acido Isomésico   | A – Bw – C            |
| Par                    | Haplustepts Fluvéntico Franco Fino Isomésico   | Ap – Bw – C1 – C2     |
| Tr                     | Argiustolls Ustalfico Franco Fino Acido Isomésico*<br>Haplustalf Ultico Franco Fino Acido Isomésico  | Ap – Bt – C           |
| Vfa                    | Ustifluvents Acuico Franco Esquelético Acido Isomésico   | A – C1 – C2           |

\* : Clase de suelo dominante en la unidad componente

Cuadro 7. Clasificación de los suelos de acuerdo a la Taxonomía del USDA (1998). Subsistema Z-2

| Unidades Suelo-Paisaje | Taxonomía del suelo   | Perfil Representativo |
|------------------------|---|-----------------------|
| Cr                     | Haplustepts Típico Franco Fino Acido Isomésico*<br>Dystrustepts Húmico Franco Grueso Acido Isomésico      | Ap – Bw – C           |
| Ver                    | Haplustalf Ultico Franco Grueso Acido Isomésico*<br>Haplustalf Oxico Franco Fino Isomésico                | A – Bt – C            |
| Vc                     | Dystrustepts Oxico Franco Esquelético Acido Isomésico   | A – AB – Bw           |
| Vsc                    | Haplustalf Ultico Franco Grueso Acido Isomésico*<br>Dystrustepts Oxico Franco Esquelético Acido Isomésico | Ap–Bt–C1–C2–C3        |
| Tr                     | Argiustolls Ustalfico Franco Fino Acido Isomésico   | Ap – Bt – C           |
| Par                    | Argiustoll Acuico Franco Fino Acido Isomésico   | Ap – Bt – Bc – C      |
| Vfa                    | Ustifluvents Acuico Franco Esquelético Acido Isomésico  | A – C1 – C2           |

\* : Clase de suelo dominante en la unidad componente

Inceptisoles, con una notoria diferenciación a nivel de familia a través de las unidades componentes del modelo, debido fundamentalmente a la dinámica pedogeomorfológica, la cual determina las diferencias en cuanto a granulometría y volumen de fragmentos gruesos en las distintas unidades componentes.

Dentro del modelo, las diferencias antes señaladas entre ambos subsistemas se ven claramente reflejadas en la taxonomía de los suelos. De este modo se observa que en el subsistema Z-1 existe una predominancia de suelos Ustorthent Típico en las Crestas (Cr), Vertientes de escurrimiento y reptación (Ver), Depresiones tectónicas (Dp), Vertientes de caída (Vc) y en los Conos de detritos (Cd). Estos suelos carecen de horizontes diagnósticos y sólo se diferencian por un marcado aumento de fragmentos gruesos en las unidades Dp, Vc y Cd. En las Vertientes de sedimentación coluvial (Vsc), la existencia de un horizonte cámbico (Bw), indica la presencia de suelos Dystruptepts Húmico y Haplustepts Oxico, estos últimos con altos valores en contenido de bases, debido a su intervención con fines agrícolas. En las Terrazas aparecen suelos Argiustoll Ustalfico y Haplustalf Ultico, con horizontes argílicos moderadamente desarrollados. Por último, en la Planicie aluvial reciente (Par), aparece un suelo del tipo Haplustepts Fluventico.

En el subsistema Z-2 se localizan suelos con mayor desarrollo respecto a los anteriores, ya que las Crestas (Cr)

contienen suelos Dystruptepts Húmico y Ustropepts Típico, definidos por un horizonte cámbico cuyo espesor es mayor a 20 cm. La presencia de altos contenidos de arcilla, con la consiguiente formación de un horizonte argílico (Bt) en las Vertientes de escurrimiento y reptación (Ver), da lugar a la formación de un Haplustalf Ultico. En la Vertiente de caída dominan los Dystruptepts Oxicos Franco Esqueléticos, debido a un alto contenido de fragmentos gruesos.

En las unidades de acumulación (Vsc, Tr y Par), los altos contenidos de arcilla del subsuelo y el uso agrícola intensivo, definen la existencia de suelos Haplustalf Ultico, Argiustol Ustalfico y Argiustol Acuico, respectivamente. A nivel de familia, los suelos de estas unidades son Franco Finos, excepto en la Planicie aluvial reciente (Par), en donde los depósitos aluviales ocasionales adicionan fragmentos gruesos, por lo que estos suelos se incluyen dentro de la categoría franco esqueléticos.

La distribución espacial de los suelos dentro del modelo, puede ser observada en la Figura 4.

## Conclusiones

El modelo suelo-paisaje definido constituye una importante herramienta para el estudio de los suelos en la microcuenca del río Zarzales, al permitir definir y analizar las relaciones empíricas entre las propiedades del suelo y el sistema paisaje del cual forma parte.



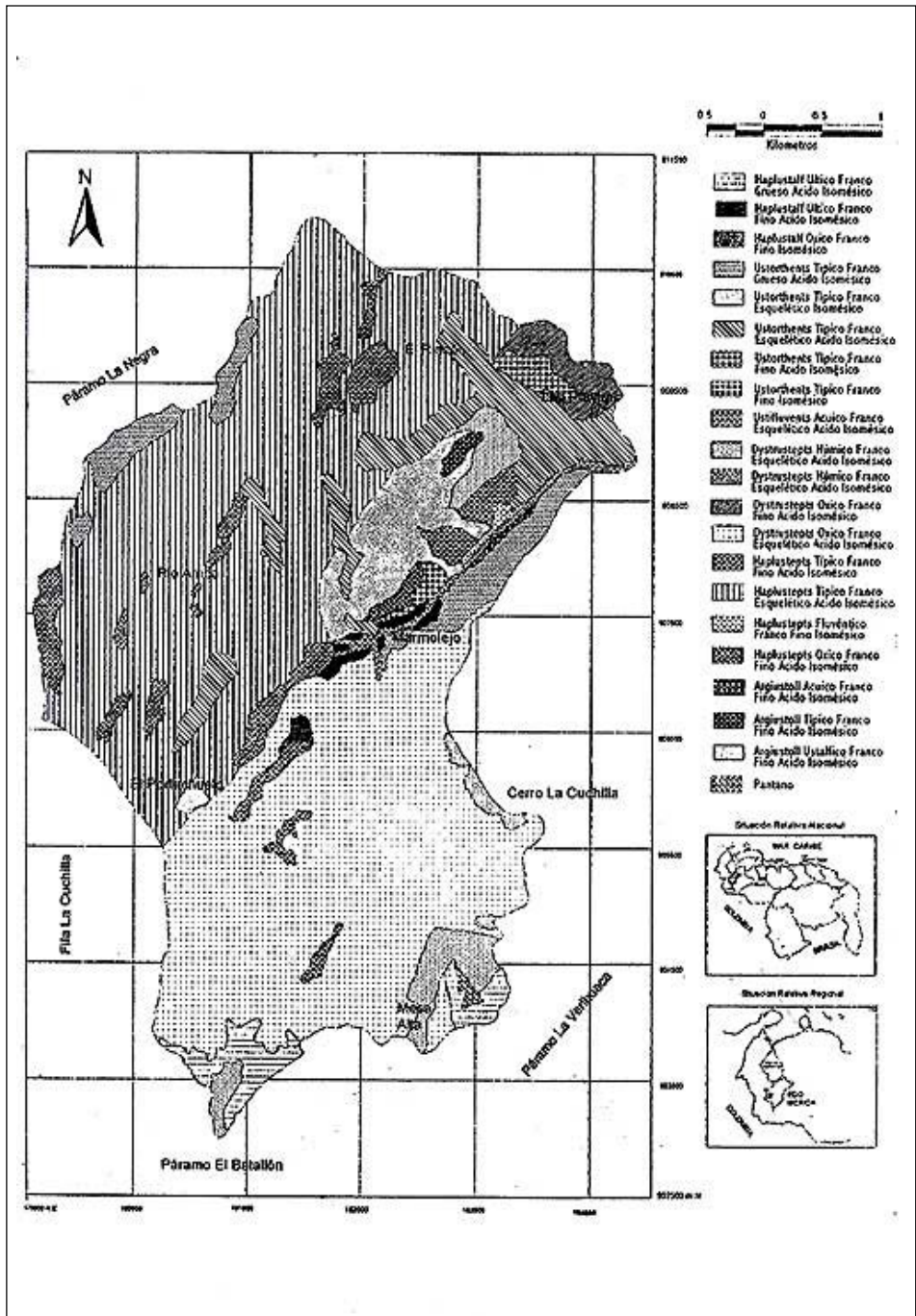


Figura 4. Unidades taxonómicas de suelo

Al predecir con notable precisión la tipología taxonómica de los suelos en una zona montañosa, las unidades suelo-paisaje constituyen unidades espaciales homogéneas, cuyo mapeo puede ser utilizado como base para los procesos de gestión y manejo de cuencas hidrográficas, aportando a los planificadores una base sobre la cual desarrollar estrategias de manejo más eficientes de los recursos naturales, principalmente el suelo y el agua.

El factor geología, a través de los elementos tectónica y litología, constituye el principal elemento diferenciador del sistema Suelo-Paisaje de la microcuenca, siendo responsable de la configuración y evolución de los suelos, y a su vez constituyó la base para la identificación de los dos subsistemas definidos. Sin embargo, no debe ignorarse el efecto que pueden ejercer los factores geomorfología, clima, orientación y la intervención antrópica, en la diferenciación y diversificación actual del sistema Suelo-Paisaje.

Las aplicaciones potenciales del modelo incluyen, entre otras, la determinación de áreas sujetas a riesgo de erosión, de ocurrencia de deslizamientos, de exceso de humedad para cultivos y de compactación del suelo por efecto de la ganadería. De igual manera puede facilitar la planificación del uso de la tierra, determinando las unidades más aptas para la agricultura, la ganadería o la protección hidrológica, entre otras, en función de las condiciones generales del suelo, lo cual apunta hacia una utilización sostenible del mismo.

El hecho de que la unidad Vertiente de caída o coluvionamiento ocupe un 67% de la superficie de la microcuenca, expresa claramente el grado de limitación espacial para la intervención con fines agrícolas, por un lado, y la susceptibilidad o el riesgo a la ocurrencia de procesos de degradación del recurso suelo, como la erosión, por el otro. Esto expresa la necesidad de establecer prácticas de conservación de suelos y de control del riego, en las zonas cultivadas dentro de esta unidad.

Asimismo, los resultados reflejan la importancia del balance pedogeomorfológico, como elemento que define la dinámica de los flujos de agua y materiales a través de las componentes del modelo, determinando así la configuración interna de las unidades y contribuyendo con la diferenciación taxonómica de los suelos.

Por último, la combinación de los modelos suelo-paisaje con herramientas técnicas como los SIG resultan de gran importancia para la flexibilización del proceso de gestión de cuencas, dado el carácter práctico de esta herramienta y la facilidad para expresar en forma gráfica y cartográfica los diferentes resultados obtenidos.

## Referencias citadas

- AGBU, P.; OJANUGA, A.; OLSON, K. 1989. *Soil - landscape in the Sokoto - Rima basin Nigeria*. **Soil Science**. 148 (2): 132-139.

- BELL, J.; CUNNINGHAM, R.; HAVENS, M. 1994. *Soil drainage class probability mapping using a soil-landscape model*. **Soil Science Society of American Journal**. 58 (2): 464-470.
- CHARTRES, C. 1982. *The role of Geomorphology in land evaluation for tropical agriculture*. **Applied Geomorphology in The Tropics**. 44: 21-32.
- CORTES, A.; MALAGON, D. 1983. **Los levantamientos de suelos y sus aplicaciones multidisciplinarias**. CIDIAT. Mérida-Venezuela.
- DE BOLOS, M. 1992. **Manual de ciencia del paisaje. Teoría, métodos y aplicaciones**. Editorial Masson S.A. Barcelona-España.
- ELIZALDE G.; JAIMES, E. 1989. *Propuesta de un modelo pedogeomorfológico*. **Revista Geográfica Venezolana**. 30: 5-35.
- FRICTSCH, E., FITZPATRICK, W. 1994. *Interpretation of soil features produced by ancient and modern processes in degraded landscapes. A new method for constructing conceptual soil- water -landscape models*. **Australian Journal of Soil Research**. 32: 889-907.
- MCLEOD, M.; RIJKSE, W.; DYMOND, J. 1995. *A soil-landscape model for close-jointed mudstone, Gisborne – East Cape, North Island, New Zealand*. **Australian Journal of Soil Research**. 33: 381-396.
- NIZEYIMANA, E.; BICKI, T. 1992. *Soil and soil-landscape relationships in the North Central Region of Rwanda, East- Central Africa*. **Soil Science**. 153 (3): 225 - 236.
- QUINTERO, E. 1996. **Aplicación del modelo de simulación SWRRB-WQ, como herramienta que contribuye al diagnóstico en proyectos de manejo de cuencas altas con escasa información: implementación en la micro-cuenca Zarzales - La Grande, Bailadores, edo. Mérida**. Tesis MSc. Centro de Estudios Forestales de Postgrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela.
- REISKE, R. 1966. *Soil landscapes. An index to multiple use*. **Journal of Forestry**. 64 (4): 230 - 235.
- RICHTER, D.; SAPLACO, S.; NOWAK, P. 1985. *Problemas de gestión de las cuencas en las tierras altas tropicales húmedas*. **La Naturaleza y sus Recursos**. 21 (4): 10 – 21.
- RIJSKE, W.; TRANGMAR, B. 1995. *Soil-landscape models and soils of eastern higlands, Papua New Guinea*. **Australian Journal of Soil Research**. 33: 735-755.
- USDA, 1998. **Keys to soil taxonomy**. United States Department of Agriculture (USDA). Natural Resources Conservation Service. Eighth Edition. Washington D.C., U.S.A.