

Relación suelo-paisaje en un sector de la cuenca del río Caramacate, Aragua, Venezuela

María Corina Pineda*, Graciano Elizalde y Jesús Viloria

Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Apdo. 4579. Maracay 2101, Aragua. Venezuela.

RESUMEN

Importantes cuencas hidrográficas montañosas en Venezuela carecen de mapas de suelo a escala adecuada para diseñar planes de manejo. Este estudio evalúa el efecto de una división jerárquica del paisaje sobre la variación de las propiedades del suelo en un sector de la cuenca del río Caramacate. El área estudiada fue dividida en cuatro unidades litogeomorfológicas, 32 tipos de paisaje y 150 tipos de relieve subordinados. Un muestreo de suelos conformado por 29 perfiles incluyó las principales combinaciones de unidades de paisaje. Los suelos ubicados en distintas unidades litogeomorfológicas resultaron significativamente diferentes en algunas propiedades químicas del suelo como % materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico a pH 7 (CIC), y Mg y K intercambiables. No se encontraron diferencias significativas entre los suelos ubicados en distintos tipos de relieve, pero cuando se consideraron las interacciones entre unidades litogeomorfológicas y tipos de relieve, se encontraron diferencias significativas en pH en KCl, espacio poroso total y retención de humedad a -33 y -100 KPa. Suelos en diferentes unidades litogeomorfológicas con el mismo tipo de relieve mostraron diferencias significativas de Na, K, Mg intercambiables, CIC, arena muy fina, retención de humedad a -500 KPa y espacio poroso $> 15 \mu\text{m}$. Por el contrario, suelos de diferentes tipos de relieve en una misma unidad litogeomorfológica mostraron diferencias significativas en pH en agua, arcilla, arena fina, arena media y densidad aparente. Se concluye que un modelo conceptual de relaciones suelo-paisaje, basado en una clasificación sistemática y jerárquica de paisaje puede solventar la carencia de información básica de suelo en áreas montañosas.

Palabras clave: cuenca hidrográfica, clasificación del paisaje, material parental, propiedades de suelo, tipo de relieve, unidad litogeomorfológica.

Soil - landscape relationship in a section of the Caramacate river basin, Aragua, Venezuela

ABSTRACT

Important mountainous watersheds in Venezuela lack of soil maps at an appropriate scale to design integrated management plans. This study evaluated the effect of a hierarchical division of the landscape on the variation of soil properties in a sector of the Caramacate river basin. The study area was sequentially divided into four units lito-geomorphologic, 32 types of landscape and 150 subordinate types of relief. A sampling of 29 soil profiles included the main landscape units. Soil profiles located in different lito-geomorphologic units were significantly different in chemical soil properties such as % organic matter, cation exchange capacity at pH 7 (CEC), and exchangeable Mg and K. There were no significant differences between soil profiles located in different types of relief. However, when interactions among lito-geomorphologic units and types of relief were considered, there were significant differences

*Autor de correspondencia: María Corina Pineda

E-mail: pinedac@agr.ucv.ve

in pH in KCl, total porosity and water retention at -33 and -100 KPa. Soil profiles in the same type of relief but in different lito-geomorphologic units showed significant differences in exchangeable Na, K and Mg, CEC, very fine sand, water retention at -500 KPa and porosity $> 15 \mu\text{m}$. Conversely, soils in different types of relief within the same lito-geomorphologic unit showed significant differences in pH in water, clay, fine sand, medium sand and bulk density. It is concluded that a conceptual model of soil-landscape relationships based on a systematic and hierarchical classification of the landscape can help to overcome the lack of soil maps in mountainous areas.

Keywords: watershed, landscape classification, soil parent material, type of relief, lito-geomorphologic unit.

INTRODUCCIÓN

Gran parte del territorio nacional presenta un relieve montañoso y de altas pendientes. Debido a esta condición, éstas áreas no fueron consideradas en los estudios convencionales de suelos, cuyo objetivo primordial era el inventario y evaluación de tierras para uso agrícola. Sin embargo, estas zonas montañosas surten de agua a las principales ciudades del país y a los grandes sistemas de riego, construidos para satisfacer las demandas de las tierras agrícolas de las áreas planas adyacentes. Además, muchos de los valles intramontanos son asiento de cultivos intensivos de “piso alto”, por lo cual existe la necesidad de generar información básica para establecer sus posibilidades de uso, mantenimiento o recuperación. Todas esas características se aplican a la cuenca de río Caramacate, la cual se localiza al centro de la Cuenca Alta del río Guárico. Esta cuenca es estratégica para el desarrollo del país porque a través del embalse de Camatagua, satisface más de 60% de la demanda de agua para consumo humano de la ciudad de Caracas y sus alrededores, así como de centros poblados del sur de Aragua y Miranda. Adicionalmente, regula el flujo de agua que ingresa a la represa de Calabozo y su importante sistema de riego y es asiento de una significativa actividad agrícola y pecuaria, así como de actividades turísticas y de explotación minera (Pineda *et al.*, 2006).

Los factores que controlan la acción de los procesos formadores de suelo (Jenny, 1941) también inciden sobre el modelado del paisaje (Elizalde y Jaimes, 1989; Elizalde, 2010), por lo que, clases similares de suelo tienden a ocupar posiciones análogas en el paisaje. Por esta razón, los mapas convencionales de suelos contienen, implícito, un modelo de relaciones suelo-paisaje, pero este modelo raras veces es definido formalmente y queda en la mente del edafólogo. La carencia de información básica en cuencas altas, y particularmente en la cuenca del río Caramacate, puede ser solventada a través del establecimiento de un modelo formal de relaciones suelo-paisaje, basado en una clasificación sistemática y jerárquica de paisaje (Elizalde, 1983), con apoyo de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

La clasificación sistemática del paisaje involucra la

agrupación de áreas que tienen características similares (Haines-Young *et al.*, 1993; Antrop, 1997, Elizalde, 2005), tomando en cuenta una jerarquía de estructura y una jerarquía de procesos (Klijn y Udo De Haes, 1994). Esto conduce a definir unidades más pequeñas y más homogéneas a medida que se avanza de un nivel categórico al siguiente. De esta manera, la clasificación permite definir diferentes clases de paisajes y sus componentes, de acuerdo con el nivel de generalización, así como la identificación de asociaciones y vínculos entre el paisaje analizado con los paisajes más generales que lo contienen. Esto facilita la evaluación de procesos geomorfológicos y pedológicos en las unidades de paisajes delimitadas y definidas, así como el establecimiento de interrelaciones suelo-paisaje (unidad pedogeomorfológica), las cuales pueden ser estudiadas, analizadas o explicadas genética y funcionalmente a diversos niveles organizados jerárquicamente (Jaimes, 1985, Elizalde, 2005). Así, las unidades que resultan de la clasificación sistemática del paisaje constituyen entidades que pueden ser analizadas e interpretadas para múltiples propósitos que tengan connotación geográfica. De esta forma, se genera información básica que puede ser obtenida en un tiempo razonablemente corto. La hipótesis de que la clasificación del paisaje conduce a delimitar áreas más homogéneas con relación a propiedades del suelo, incluyendo su cobertura y uso, ha sido evaluada por diversos autores en el país (e.g. Abreu y Elizalde, 2000; Jácome *et al.*, 2001; Vilorio *et al.*, 2001; Jaimes *et al.*, 2005; Pineda *et al.*, 2008, Vilorio *et al.*, 2010). Así, por ejemplo, Vilorio *et al.* (2001) la emplean como marco geográfico para correlacionar unidades de mapas de suelos de áreas adyacentes; Elizalde y Daza (2003) la aplicaron para evaluar amenazas de movimientos en masa; Rivas *et al.* (2005) la usaron como base para una propuesta de evaluación de tierras en función de la captación de agua en cuencas hidrográficas y Morales y Vilorio (2005), para evaluar la interrelación entre unidades geológicas y propiedades del suelo.

El objetivo de este trabajo fue establecer si existen diferencias entre perfiles de suelo ubicados en distintas unidades de paisaje, definidas en un mismo nivel categórico de clasificación y si existen interacciones, con relación a la homogeneidad de las propiedades del suelo, entre clases de paisaje definidas en niveles jerárquicos diferentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El área de estudio se localizó en un sector de 6 760 ha dentro de la cuenca del río Caramacate, la cual comprende un área aproximada de 18 012 ha. El área está localizada en la región Centro Norte Costera, al Sur del estado Aragua, Venezuela (Figura 1), entre las coordenadas UTM 1 098 310 m y 1 123 583 m Norte y 696 879 m y 712 415 m Este, Huso 19, abarcando parte de los municipios Santos Michelena y San Sebastián (Ochoa, 2003). Esta cuenca se ubica en un área orogénica, metamorfozada, plegada y fallada, que constituye un sistema montañoso de orientación Este-Oeste denominado región Cordillera de la Costa Central, específicamente, en la provincia fisiográfica Serranía del Interior Central, subprovincia fisiográfica Complejo Montañoso de la Serranía del Interior Central (Elizalde *et al.*, 2007). A lo largo de la zona aparecen las formaciones geológicas El Chino-El Caño y El Carmen, que pertenecen al grupo Villa de Cura (rocas metavolcánicas y metasedimentarias) (Urbani y Rodríguez, 2003). El Chino-El Caño se compone de basaltos y rocas metavolcánicas asociadas a rocas sedimentarias, y El Carmen incluye metalavas máficas intercaladas con rocas metasedimentarias y otras rocas metavolcánicas (Shagam, 1960). Presenta alturas que alcanzan los 2 600 msnm y pendientes generales del orden de 30 a 60%. La parte alta de la cuenca, localizada al Norte, está conformada principalmente por laderas escarpadas con pendientes generales superiores al 45% (Ospina y Elizalde, 2004). En la parte media y baja de las laderas se observan terrazas antiguas que constituyen los restos de un fondo estabilizado asociado a procesos

de sedimentación y pedogénesis. Las laderas muestran cambios de pendientes, atribuibles a la sedimentación de material coluvial o a niveles de base diferentes (Jácome *et al.*, 2004.). Específicamente, el área de estudio presenta un relieve quebrado en toda su extensión, que varía altitudinalmente entre 334 msnm en las adyacencias del poblado de San Sebastián de los Reyes (Sur) y 1 405 msnm, en la zona de El Altar (extremo Noreste). Las escasas áreas planas o semiplanas (< 8% de pendiente) se encuentran localizadas principalmente hacia el Sur y en algunos sectores a lo largo de las márgenes del cauce del río Caramacate, lo cual corresponde a la posición de valle (Ochoa *et al.*, 2004).

La precipitación media anual es de 1 200 mm, distribuida mayormente entre mayo y octubre. El sector presenta bosques nublados a partir de los 900 msnm, elemento importante para determinar las condiciones de variabilidad climática con la altura. Al centro de la cuenca se encuentran valores de precipitación mayores de 1 400 mm, que se corresponden con la presencia de Bosque Húmedo Premontano y al Sur se presentan valores promedios de 1 200 mm, que se corresponde con la presencia de Bosque Seco Tropical (Parra y Puche, 2004). El área de estudio se localiza en la zona central de la cuenca, bajo Bosque Húmedo Premontano.

Delimitación cartográfica de las unidades de paisaje

La delimitación de las unidades de paisaje se basó en la clasificación sistemática de paisajes de Elizalde (1983), en combinación con herramientas de SIG. Para los tres primeros niveles de clasificación se adoptó la

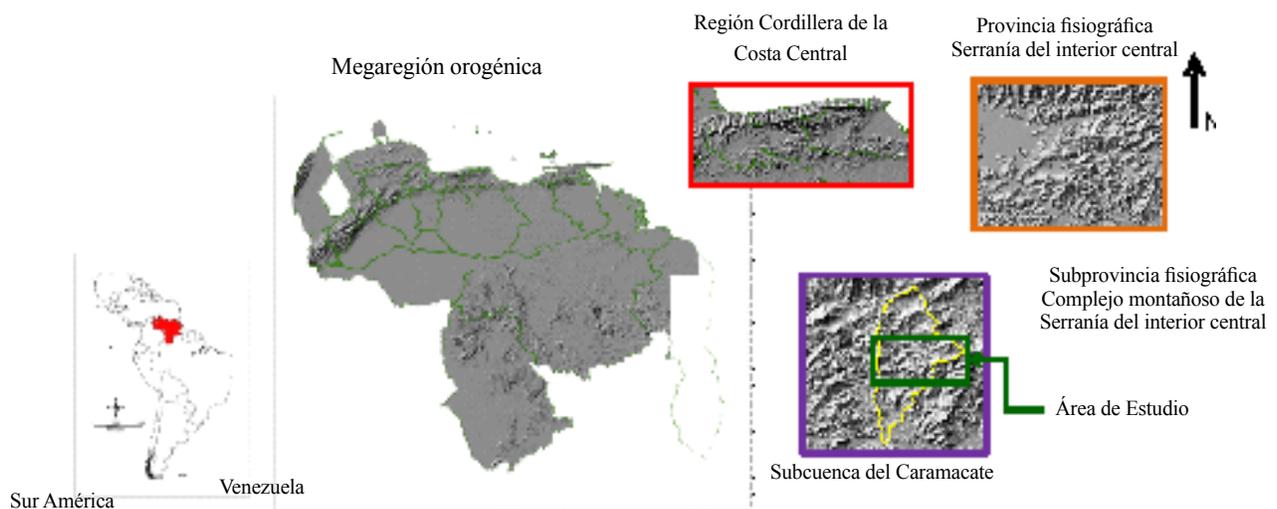


Figura 1. Ubicación relativa de la cuenca del río Caramacate.

clasificación elaborada por Ospina y Elizalde (2004). La delimitación de las unidades a nivel cuatro, correspondiente a subprovincias fisiográficas, se realizó con base en la propuesta de Ospina y Elizalde (2004), corregida a partir de un modelo digital de elevación (MDE) de Venezuela (Rodríguez *et al.*, 2005). La delimitación de las unidades litogeomorfológicas (nivel cinco) se realizó a partir del mapa geológico de Urbani y Rodríguez (2003), previamente georeferenciado y digitalizado, debido a que en el mismo se representaban los límites de las formaciones geológicas a escala 1:25 000. Adicionalmente, se delimitaron las unidades litogeomorfológicas superficiales (aluviones y coluviones que pueden ser diferenciados a escalas entre 1:25 000/1:100 000), usando como base el MDE desarrollado por Ochoa *et al.* (2004) para toda la cuenca, a partir de curvas de nivel cada 20 m y sus derivados (altura relativa, gradiente y orientación de la pendiente, plano de curvatura y perfil).

Una vez delimitadas las unidades de paisaje a nivel cinco, se delinearón las unidades de paisaje a nivel seis (tipos de paisaje). Para ello se utilizó como base el MDE de Ochoa *et al.* (2004) y sus derivados y los ortofotomapas del área de estudio, los cuales aportaron la información relacionada con configuración del terreno (Pineda, 2008). Posteriormente, se agregó la información bioclimática, basada en macroclimas (zonas de vida) (Jácome, 2002). La delimitación del nivel siete (tipos de relieve) se apoyó igualmente en información adicional generada a partir del MDE, tal como: pisos altitudinales, clases de pendiente, orientación de las laderas, forma del terreno y área de captación, además de la red de drenaje (Pineda, 2008). Para la caracterización de los tipos de relieve que ocurren en el paisaje de montaña, se usaron los términos, cresta, viga y ladera (Zinck, 1981). Como base para la separación de los tipos de relieve, también se evaluaron las líneas divisorias de agua, los patrones de drenaje superficial y la expresión de la estructura geológica (Pineda, 2008). Es importante aclarar que la delimitación de las unidades en cada nivel categórico, se realizó por medio de un análisis visual de la información básica o

fuentes de información, usando como apoyo herramientas de SIG para la delimitación de las mismas, lo cual permitió tomar en cuenta el carácter jerárquico del sistema de clasificación (Pineda, 2008).

Diseño del muestreo

Para el establecimiento del número de muestras, se empleó como base del diseño la varianza de las propiedades del suelo, calculada a partir de 70 puntos de muestreo localizados en la cuenca del río Caramacate (Prada *et al.*, 2004). En función de la variable con mayor magnitud de desviación estándar se calculó que 31 puntos de muestreos eran suficientes para tener una estimación de los principales propiedades del suelo en el área de estudio, con un error máximo de 10% (Pineda, 2008). Con base en el número indicado, se distribuyeron los puntos de muestreo en forma aproximadamente proporcional al área que ocupa cada unidad de paisaje en los niveles 5, 6 y 7 previamente delimitadas y verificadas en campo. Esto condujo a una distribución jerárquica del número de muestras (Figura 2), las cuales fueron reducidas a 29 perfiles de suelo representativos de las unidades de paisaje consideradas, tomando en cuenta la accesibilidad del área.

Caracterización física y química de los suelos

En cada punto seleccionado se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas del primer horizonte y del segundo cuando éste existía, con la finalidad de realizar análisis químicos y las determinaciones de atributos físicos. Es importante destacar que en el área de estudio predominan suelos poco profundos y en algunos puntos de muestreo se encontró solo un horizonte de suelo. A la fracción < de 2 mm se le determinó distribución de tamaño de partículas por Bouyoucos, con fraccionamiento de arena por tamizado; pH en KCl en relación 1:1, pH en agua 1:1 por el método potenciométrico; conductividad eléctrica en relación suelo: agua 1:5 por el método conductimétrico; materia orgánica del suelo (MOS) por combustión húmeda; bases extraíbles (Ca, Mg, K y Na, $\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$) con acetato de amonio normal y neutro,

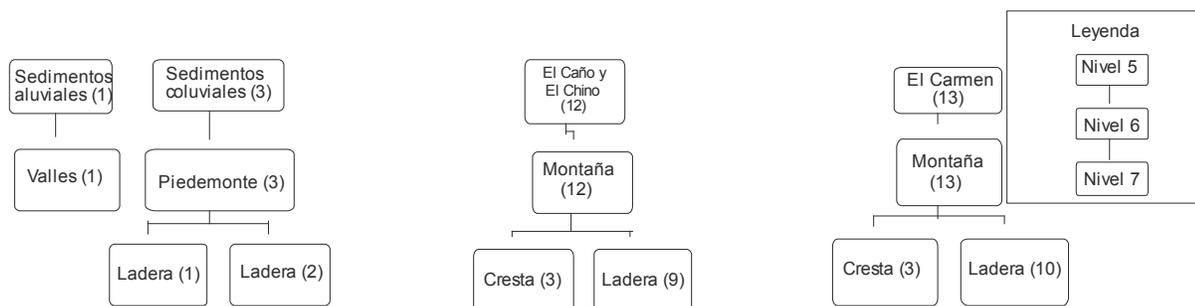


Figura 2. Distribución de los puntos de muestreo por nivel jerárquico de la clasificación de paisaje. Los números entre paréntesis indican la cantidad de muestras en cada paisaje.

capacidad de intercambio catiónico por acetato de amonio a pH 7 (CIC, Cmol⁽⁺⁾/kg), acidez total, hidrógeno y Al intercambiables (Cmol⁽⁺⁾/kg) y % de saturación con bases (FAGRO-UCV, 1993). Las muestras no disturbadas fueron analizadas según los métodos descritos por Pla (1977) para determinar espacio poroso total (EPT, %), macroporos (EP > 15 μm, %), diámetro medio de poros (DMP, %), retención de humedad (RET, % en peso) a -33, -100 y -500 KPa y densidad aparente (Da, Mg/m³).

Análisis estadístico de la información de suelos

Se realizó un análisis exploratorio de datos determinando su distribución, los estadísticos de tendencia central y dispersión, y la presencia de valores atípicos. Estos últimos se identificaron de la manera siguiente (Tukey, 1977): Rango (H) = 3^{er} Cuartil - 1^{er} Cuartil; Paso = 1,5 * H; Cerca Interna Superior = 3^{er} Cuartil + Paso; Cerca Interna Inferior = 1^{er} Cuartil - Paso; Cerca Externa Superior = 3^{er} Cuartil + 2 Pasos; Cerca Externa Inferior = 1^{er} Cuartil - 2 Pasos. Los datos que se encontraron fuera de las cercas externas se denominaron datos muy lejanos y fueron considerados atípicos. Se efectuó posteriormente la prueba de hipótesis de Shapiro y Wilks (1965) para evaluar normalidad en la distribución de los datos.

La prueba de normalidad de variables mostró que algunas variables presentaron distribución normal MOS, pH en agua, Da, DMP, EPT, EP > 15 μm, limo, retención de humedad a -33, -100 y -500 KPa y poros 2-1mm y otras no (CIC, Ca, Mg, Na y K extraíbles, pH_{KCl}, profundidad, arcilla, arena gruesa, arena muy gruesa, arena media, arena total, poros > 2mm, poros 1-0,5mm, poros 0,5- 0,25 mm y poros < 0,25. Por esto, para evaluar si existen diferencias entre las propiedades del suelo, de acuerdo a su ubicación litogeomorfológica y tipo de relieve, se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (1952), y una prueba de comparación de todos los pares de medias ponderadas (Figueras y Gargallo, 2003).

Dado que las variables que no se ajustaron a la distribución normal presentaron valores del estadístico W cercanos a 1 (>0,8), se realizó también un análisis de varianza paramétrico, usando el diseño factorial para evaluar interacciones entre las unidades litogeomorfológicas y los tipos de relieve. Para este análisis se establecieron sólo dos clases de tipo de relieve: cresta o viga y laderas, por lo que se unificaron los tipos de relieve de ladera superior, media e inferior, como un sólo tipo de relieve (ladera). El diseño factorial determina si los efectos de los factores son independientes o existe interacción entre ellos (Figueras y Gargallo, 2003). De esta manera, se establecieron comparaciones entre: a) unidades litogeomorfológicas sin tomar en cuenta el tipo de relieve, b) tipos de relieve sin tomar en cuenta la unidad litogeomorfológica, c)

combinaciones de unidades litogeomorfológicas y tipos de relieve.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Desde el punto de vista geomorfológico, la subdivisión del área comienza a nivel cinco, en el cual se definieron cuatro unidades litogeomorfológicas (Figura 3). Una vez delimitadas estas unidades, el área de estudio fue subdividida en 32 tipos de paisajes con tres configuraciones predominantes (montaña, piedemonte y valle). Los tipos de paisajes que cubren mayor extensión corresponden a montañas. Esta categoría fue subdividida en 150 tipos de relieve entre los cuales los más comunes corresponden a crestas y laderas. La mayor parte de los 29 puntos de muestreo se concentraron en los suelos de las unidades desarrolladas sobre las formaciones Metatobas de El Chino- El Caño y Metalavas de El Carmen, 25 de los 29, se tomaron en paisajes de montaña ubicándose la mayor parte de los puntos (21 en total) en laderas (Figura 4).

Diferencias entre unidades litogeomorfológicas

Los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis muestran que los suelos de la unidad litogeomorfológica Metatobas de El Chino-El Caño difieren de los suelos de Metalavas de El Carmen con relación a las variables MOS, CIC, contenido de Mg y K extraíbles, arena muy gruesa, EP > 15 μm y retención de humedad a -33, -100 y -500 KPa (Cuadro 1). La prueba de comparación de medias confirmó que los suelos desarrollados sobre materiales provenientes de ambas formaciones geológicas fueron significativamente diferentes solo con relación a las variables MOS, CIC, K y Mg, pero las diferencias en arena muy gruesa, EP > 15 μm y RET-33, -100 -500 KPa no fueron significativas (Cuadro 2).

Cuadro 1. Prueba de Kruskal-Wallis de diferencias entre suelos de las unidades litogeomorfológicas Matabas de El Chino-El Caño y Metalavas de El Carmen.

Variables	H
MOS (%)	5,03*
CIC (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	16,36**
Mg (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	16,79**
K (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	8,76*
Arena muy gruesa (%)	4,09*
EP > 15 μm (%)	5,34*
RET-33 KPa (%)	4,45*
RET-100 KPa (%)	6,24*
RET-500 KPa (%)	5,23*

H: Estadístico de Kruskal-Wallis; n = 49; * P < 0,05; ** P < 0,01

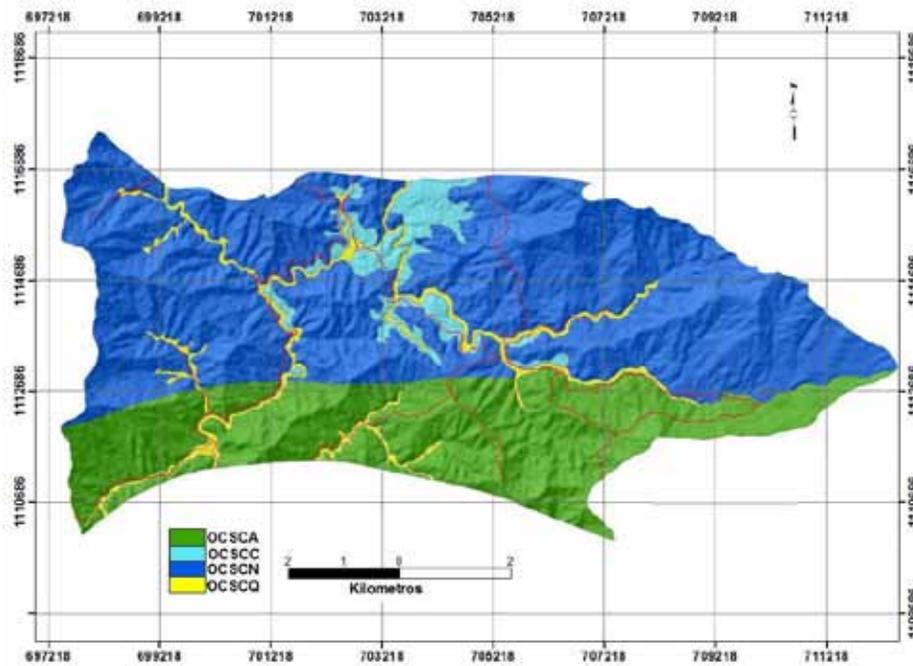


Figura 3. Unidades litogeomorfológicas identificadas en el área de estudio. Leyenda: OCSCA= Metalavas El Carmen, OCSCN= Metatobas de El Chino-El Caño, OCSCC= Mantos coluviales o coluvialuviales, OCSCQ= Sedimentos aluviales.

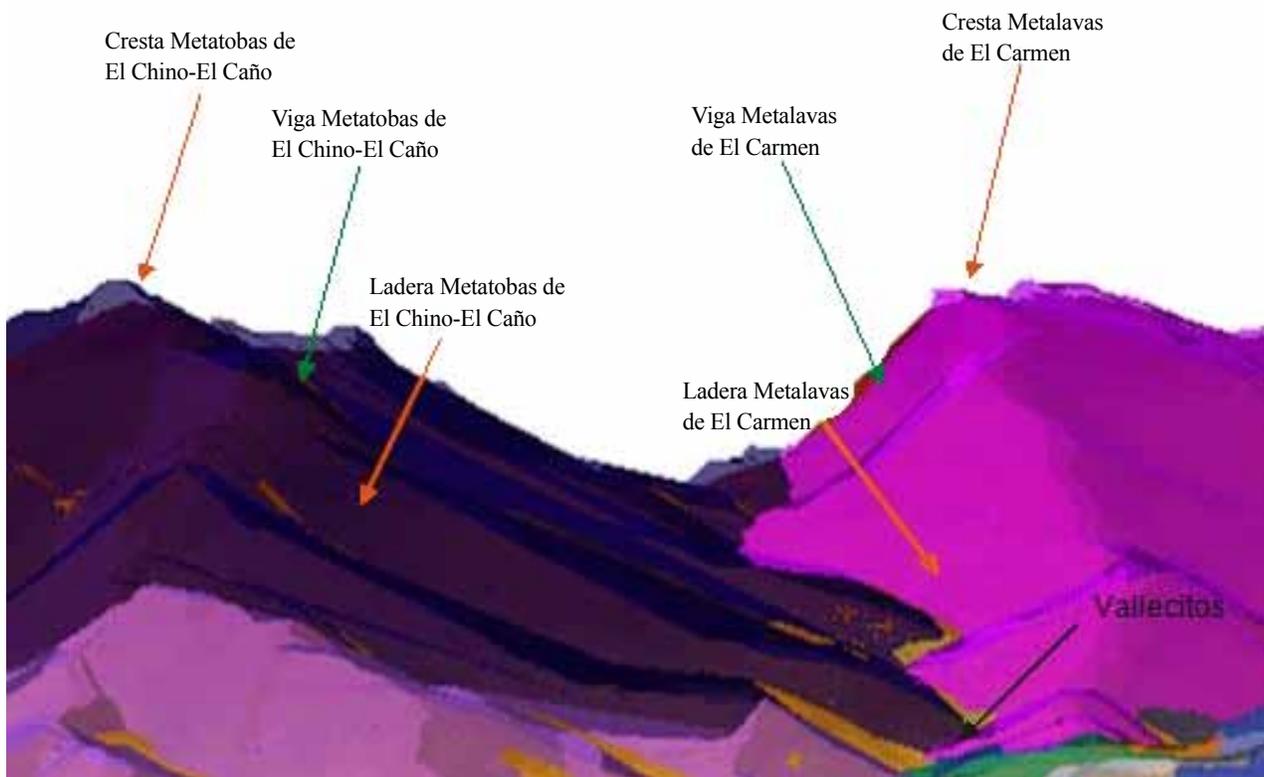


Figura 4. Representación esquemática de los tipos de relieve muestreados.

Cuadro 2. Prueba de comparación de medias entre los suelos de las formaciones Metatobas de El Chino-El Caño y Metalavas de El Carmen.

Variables	Unidad Litogeomorfológica	
	El Carmen	El Caño y Chino
MOS (%)	3,22a	4,29b
CIC (Cmol ⁽⁻⁾ /kg)	19,67a	12,70b
Mg (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	12,44a	6,79b
K (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)	0,23a	0,01b
Arena muy gruesa (%)	4,52a	6,42a
EP >15 μm (%)	9,00a	7,41a
RET -33 KPa (%)	26,41a	32,72a
RET -100 KPa (%)	23,30a	28,82a
RET - 500 KPa (%)	16,40a	19,73a

Medias con letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$)

De acuerdo con estos resultados, la influencia de la variación de la fuente del material parental (Metatobas de El Chino-El Caño o Metalavas de El Carmen) en estos suelos se manifiesta en diferencias químicas más que físicas. Esto parece estar relacionado con la similitud granulométrica del material geológico, dado que ambas formaciones están constituidas predominantemente por rocas volcánicas metamorfozadas de grano fino.

Diferencias entre tipos de relieve

Al comparar las propiedades de los suelos ubicados en distintos tipos de relieve, sin tomar en cuenta la unidad litogeomorfológica en que se encuentran, la prueba de Kruskal-Wallis revela que existen diferencias en algunas propiedades del suelo, principalmente de naturaleza física, con excepción de % SB (Cuadro 3). Sin embargo, los resultados de la prueba de comparación de pares de medias permiten aclarar que estas diferencias ocurren solo cuando se comparan las crestas o vigas con las laderas, pero no existen diferencias entre las laderas superior, media e inferior (Cuadro 4). Se debe destacar que en esta no se conservó la relación jerárquica del paisaje, ya que se evaluó el tipo de relieve sin tomar en cuenta la unidad litogeomorfológica, perdiéndose así la relación filial entre ambos niveles categóricos.

Interacción entre unidades litogeomorfológicas y los tipos de relieve

Cuando se comparan diferentes combinaciones de unidades litogeomorfológicas y tipos de relieve, solo las variables pH KCl, EPT y RET-33 y -100 KPa exhiben una interacción significativa ($P < 0,05$), como se muestra en la Figura 5.

Cuadro 3. Resultados de la prueba de Kruskal-Wallis para tipos de relieves (laderas vs. crestas), sin tomar en cuenta las unidades litogeomorfológicas en la que se encuentran.

Variables	H
SB (%)	8,97*
Arcilla (%)	7,86*
Arena total (%)	7,98*
Arena media (%)	8,41*
Arena fina (%)	17,31**
Arena muy fina (%)	14,38*
Da (Mg/m ³)	11,50*
EP >15 μm (%)	7,63*
RET -33 KPa (%)	7,42*
RET -100 KPa (%)	13,28*
RET -500 KPa (%)	19,25**
Poros 2-1 mm (%)	7,27*

H: Estadístico de Kruskal-Wallis; n = 49; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

Sin embargo, cuando se comparan suelos en tipos de relieve análogos, pero que corresponden a distintas unidades litogeomorfológicas, se observan diferencias significativas en las variables Na, K, Mg, CIC, arena muy fina, RET-500 KPa y espacio poroso $> 15 \mu m$ (Cuadro 5). Esto indica que existe una marcada influencia del material parental sobre ciertas propiedades del suelo, a pesar de que los suelos ocupen posiciones análogas en el relieve.

Por el contrario, cuando se comparan diferentes tipos de relieve en una misma unidad litogeomorfológica se observan diferencias significativas en las variables: pH en agua, arcilla, arena fina, arena media y densidad aparente (Cuadro 6). Las diferencias en la distribución del tamaño de las partículas del suelo entre el tipo de relieve dominante (cresta o viga) y el dominado (ladera) sugieren que ha ocurrido un transporte selectivo de las partículas más finas del primero al segundo. Como consecuencia, los suelos tienden a ser más arcillosos en las laderas que en las crestas o vigas. Las diferencias observadas en los valores de densidad aparente se corresponden con esta variación espacial de la textura del suelo. Por el otro lado, las variaciones en el pH del suelo indican que no ha ocurrido una migración de bases desde la posición más alta del relieve hacia las laderas. Por el contrario, los suelos en las crestas o vigas tienden a ser menos ácidos que en las laderas.

Por otra parte, las propiedades del suelo en la unidad litogeomorfológica Metalavas de El Carmen (Cuadro

Cuadro 4. Prueba de comparación de medias entre los tipos de relieve (laderas vs crestas), sin tomar en cuenta unidades litogeomorfológicas en la que se encuentran.

Tipo de relieve	Saturación con bases	Arcilla	Arena			Da	EP >15 μ m	RET			Poros 2-1 mm	
			Total (%)	Media	Fina			Muy fina	-33	-100 KPa		-500
Cresta o viga	89,95a	12,72a	31,07a	6,90a	10,05a	5,82a	1,40a	8,81a	28,30a	24,73a	16,47a	9,52a
Ladera superior	44,10b	18,43ab	33,75a	6,57a	6,23a	2,83a	-	-	-	-	-	-
Ladera media	87,42ab	22,62b	20,90a	3,42a	3,77a	2,50a	1,24a	6,25b	34,92b	31,09a	23,62a	12,86a
Ladera inferior	78,00ab	18,31ab	25,90a	4,64a	6,45a	4,54a	1,36a	7,67ab	29,83ab	26,43a	18,57a	6,19a

Medias con subíndices diferentes en una misma columna indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

7) varían de acuerdo a su localización en la dirección Este-Oeste. Los perfiles de suelos localizados al este del área de estudio presentaron mayor contenido de materia orgánica, pH más ácido, menor porcentaje de saturación con base, mayor contenido de arcilla, mayor capacidad de intercambio catiónico, menores contenidos de Mg y Ca

intercambiables ($\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$) y mayores contenidos de Na y K intercambiables ($\text{Cmol}^{(+)}/\text{kg}$). Estas diferencias se asocian a la existencia de un gradiente bioclimático que se manifiesta con la presencia de bosques siempre verdes y semi deciduos hacia el este, en contraste con la cobertura de herbazal arbustivo predominante en el oeste del área de estudio.

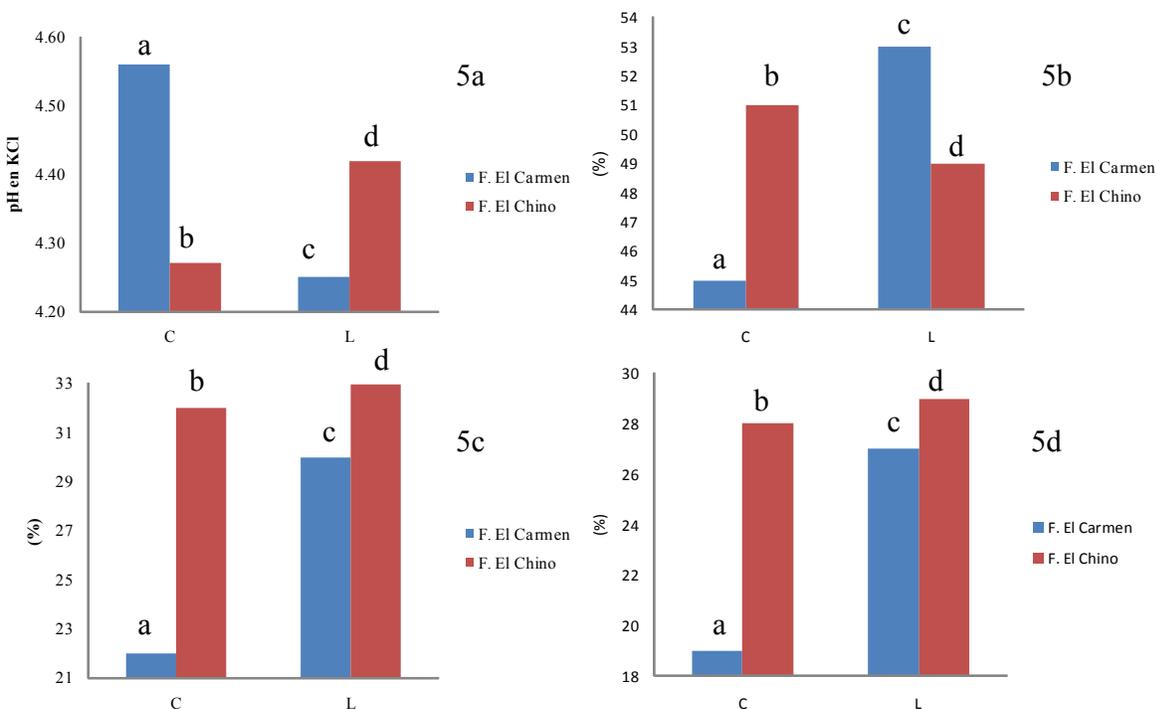


Figura 5. Interacción entre las unidades litogeomorfológicas Metatobas de El Chino-El Caño y Metalavas de El Carmen y los tipos de relieve cresta o viga (C) y ladera (L) para las variables pH KCl (5a), espacio poroso total (5b) y retención de humedad a -33 KPa (5c) y -100 KPa (5d)

Cuadro 5. Diferencias entre suelos localizados en el mismo tipo de relieve pero en distintas unidades litogeomorfológicas.

Tipo de relieve	Variable	Unidad litogeomorfológica	
		El Carmen	El Chino-El Caño
Cresta o Viga	Na (Cmol ⁺ /kg)	0,12 a	0,10b
	Mg (Cmol ⁺ /kg)	11,85a	9,24b
	K (Cmol ⁺ /kg)	0,25a	0,01b
	CIC (Cmol ⁺ /kg)	16,86a	12,65b
	Arena muy fina (%)	3,8a	7,54b
	RET -500 KPa (%)	14,24a	17,95b
	EP> 15 µm & (%)	9,44a	8,49b
Ladera	Na (Cmol ⁺ /kg)	0,14a	0,09b
	Mg (Cmol ⁺ /kg)	13,02a	4,33b
	K (Cmol ⁺ /kg)	0,22a	0,015b
	CIC (Cmol ⁺ /kg)	22,48a	12,75b
	Arena muy fina (%)	3,29a	3,77b
	RET -500 KPa (%)	18,48a	21,65b
	EP> 15 µm (%)	8,44a	6,37b

Medias con subíndices diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P< 0,05).

Cuadro 6. Diferencias entre suelos localizados en distintos tipo de relieve pero en la misma unidad litogeomorfológica.

Unidad Litogeomorfológica	Variable	Cresta o Viga	Ladera
El Carmen	pH agua	6,23a	5,69b
	Arcilla (%)	14,6a	18,93b
	Arena fina (%)	9,22a	6,18b
	Arena media (%)	8,07a	4,72b
	Densidad aparente (Mg/m ³)	1,49a	1,33b
El Chino-El Caño	pH agua	5,7a	5,5b
	Arcilla (%)	11,2a	21,21b
	Arena fina (%)	10,74a	4,89b
	Arena media (%)	5,92a	3,77b
	Densidad aparente (Mg/m ³)	1,34a	1,30b

Medias con letras diferentes en una misma fila indican diferencias significativas (P< 0,05).

Cuadro 7. Comparación de los perfiles de suelo localizados al Este o al Oeste del área de estudio, sobre la unidad litogeomorfológica Metalavas de El Carmen.

Atributo	Oeste	Este
MO (%)	2,49	4,02
Ca (Cmol ⁺ /kg)	10,89	7,23
Mg(Cmol ⁺ /kg)	17,32	7,81
K(Cmol ⁺ /kg)	0,02	0,46
Na(Cmol ⁺ /kg)	0,11	0,18
CIC(Cmol ⁺ /kg)	14,91	32,78
SB (%)	100,00	50,70
pH 1:1 H ₂ O	6,22	5,35
Arcilla (%)	12,62	23,88
Arena (%)	27,30	24,48
CIC Arcilla (Cmol ⁺ /kg) ²	59,95	86,77

¹ No se realizaron pruebas estadísticas por insuficiencia de datos

² Para este cálculo se supuso que la M.O. tiene una CIC de 300(Cmol⁺/kg)

CONCLUSIONES

La separación del paisaje en diferentes unidades litogeomorfológicas divide a los suelos del área de estudio en dos grupos con diferencias significativas en algunas de sus propiedades. En efecto, los suelos de la unidad Metalavas de El Carmen tienen mayor CIC y son más ricos en Mg, K y Na cambiables, que los suelos de la unidad Metalavas de El Chino- El Caño. Pero estos últimos retienen más agua a -500 Kpa y tienen más arena muy fina que los primeros. Estas diferencias revelan la influencia de la fuente del material parental sobre la variación espacial del suelo en el área de estudio.

La separación de cada unidad litogeomorfológica en diferentes tipos de relieve agrega una nueva fuente de variación espacial del suelo. Así, en el área de estudio, los suelos de las laderas tienden a tener textura más fina y a ser más ácidos que los suelos de las crestas o vigas. En

adición a esto, la variación bioclimática presente en esta área también influye sobre las diferencias observadas en las propiedades del suelo, bajo las mismas condiciones de relieve y formación geológica.

De esta manera, se concluye que el establecimiento de un modelo formal de relaciones suelo-paisaje, basado en una clasificación sistemática y jerárquica de paisaje contribuye a solventar la carencia de información básica de suelo en áreas de montañas. La validación estadística de este modelo, como se ha mostrado en este trabajo, le provee al usuario información útil sobre la confiabilidad del modelo de suelo-paisaje.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean expresar su agradecimiento al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela, por su aporte realizado para la ejecución de esta investigación a través del proyecto PI 01-6244-2008/2, al Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT) del Ministerio del Poder Popular para Ciencia y Tecnología e Industrias Intermedias y de la Ley Orgánica de Ciencia, Tecnología e Innovación (proyecto S1-2002000544 y LOCTI).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, X.; G. Elizalde. 2000. Evaluación de las relaciones entre la complejidad pedogeomorfológica y los tipos de uso de la tierra en microcuencas pertenecientes a la cuenca alta del río Guárico (Venezuela). *Venesuelos* 8:9-17.
- Antrop, M. 1997. The concept of traditional landscapes as a base for landscape evaluation and planning. The example of Flanders Region. *Land. Urban Plan.* 38:105-117.
- Elizalde, G. 1983. Ensayo de clasificación sistemática de categorías de paisajes. Primera aproximación. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, Maracay. Venezuela. 46 p.
- Elizalde, G. 2005. Desarrollo de un enfoque metodológico para el estudio de sistemas pedogeomorfológicos y de los suelos como componentes de los Paisajes. Trabajo de Ascenso. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 46 p.
- Elizalde, G. 2010. El suelo en la fase superficial del ciclo geológico. *Geoenseñanza* 14 (2).
- Elizalde, G.; M. Daza. 2003. Procedimiento para evaluar amenazas de movimientos en masa con información restringida en paisajes montañosos. *Rev. Fac. Agron. UCV.* 29:197-208.
- Elizalde, G.; E. Jaimes. 1989. Propuesta de un modelo pedogeomorfológico. *Rev. Geo. Vén.* 30: 5-35.
- Elizalde, G.; J. Vilorio; A. Rosales. 2007. Geografía de Suelos de Venezuela. *Geo Venezuela*, Tomo 2: Medio Físico y Recursos Ambientales. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela. 15: 402-537.
- FAGRO-UCV.1993. Métodos de análisis de suelos y plantas utilizados en el laboratorio general del Instituto de Edafología. Cuadernos de Agronomía, UCV, FAGRO, Instituto de Edafología. N°6. Maracay. 89 p.
- Figueras, S.M.; P. Gargallo. 2003. Análisis exploratorio de datos. Disponible en: <http://www.5campus.com/leccion/aed> [Consultado: Julio 2007]
- Haines-Young, R.; D.R. Green; S. Cousins. S.1993. *Landscape Ecology and Geographic Information Systems*. Taylor & Francis. Londres, Inglaterra.
- Jácome, A. 2002. Evaluación del efecto de cambio de cobertura y uso de la tierra sobre la producción de sedimentos en la cuenca del río Caramacate (subcuenca portante del Embalse de Camatagua). Trabajo de Ascenso. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay. Venezuela. 159 p.
- Jácome, A.; A. Ospina; A. Valera; G. Elizalde. 2004. Memoria. Jornada Técnica de Diagnóstico General de la Realidad de campo de la Cuenca Alta del Río Guárico: Gira de Campo 04 al 07 de Agosto 2.003. Manejo Integral de la Cuenca Alta del Río Guárico. Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica del Milenio. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay. Venezuela. 52 p.
- Jácome, A.; J. Vilorio; G. Elizalde. 2001. Separabilidad de unidades pedogeomorfológicas en un sector del sur del estado Aragua. Venezuela, por medio del análisis digital de imágenes de satélite y un modelo digital de terreno. *Agron. Trop.*, 51: 49-63.
- Jaimes, E. 1985. Análisis de las relaciones geomorfológicas-suelo en las cuencas altas de los ríos Aragua y Petaquire serranía del litoral central cordillera de la costa. Trabajo de Maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 155 p.
- Jaimes, E.; J. Mendoza; N. Pineda; H. Rodríguez. 2005. Homogeneidad pedogeomorfológica y pedogénesis en la cuenca del Río Motatan, Trujillo, Venezuela. *Interciencia* 30: 73-80.
- Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation*. McGraw-Hill, New York, EUA. 109 p.

- Klijn, F.; H. Udo De Haes. 1994. A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification, *Land. Ecol.* 9: 89-104.
- Kruskal, W. H.; W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. Am. Stat. As.* 47: 583-621.
- Morales, A.; J. Viloría. 2005. Interrelación entre unidades geológicas y propiedades del suelo en la cuenca alta del río Guárico, Venezuela. *Venesuelos* 13:11-21.
- Ochoa, J. 2003. Análisis de la cobertura y uso de la tierra a escala semidetallada, a partir del procesamiento visual de una imagen de satélite Landsat, en la cuenca del río Caramacate. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 127 p.
- Ochoa, J.; A. Jácome; J. Viloría. 2004. Caracterización del relieve de las subcuencas de los ríos Caramacate y San Juan, por medio de los modelos digitales de elevación. Proyecto Iniciativa Científica del Milenio. Núcleo de Investigación y Excelencia Manejo Integral de la cuenca alta del río Guárico. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela. 30 p.
- Ospina, B. A.; G. Elizalde. 2004. Clasificación de paisajes de la subcuenca del río Caramacate, escala 1:100.000. Manejo integral de la cuenca alta del río Guárico. Proyecto Iniciativa Científica del Milenio. Núcleo de Investigación y Excelencia Manejo Integral de la cuenca alta del río Guárico. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 50 p.
- Parra, M.; M. Puche. 2004. Informe sobre caracterización climática de las estaciones pertenecientes a la cuenca alta del río Guárico. Manejo Integral de la Cuenca Alta del río Guárico. Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica del Milenio. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 78 p.
- Pineda, M.C. 2008. Determinación de áreas susceptibles a movimientos en masa y erosión laminar en unidades de paisaje del río Caramacate, localizada en la cuenca alta del río Guárico. Trabajo de Ascenso. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Venezuela. 332 p.
- Pineda, N.; E. Jaimes; J. Mendoza; R. Arellano; L. Becerra; H. Rodríguez. 2008. Homogeneidad Pedogeomorfológica asociada con las formaciones geológicas y zonas de vida de la microcuenca del río Monaquito, Trujillo, Venezuela. *Bioagro* 20: 49-56.
- Pineda, C.; D. Machado; E. Casanova; J. Viloría. 2006. Evaluación física de tierras de la cuenca alta del río Guárico con fines de producción sustentable de agua. *Agron. Trop.* 56:385-414.
- Pla I. 1977. Metodología para la caracterización física con fines de diagnóstico de problemas de manejo y conservación de suelos en condiciones tropicales. Curso de Postgrado en Ciencia del Suelo, Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Comisión de Estudios para Graduados. Maracay, Venezuela. 85 p.
- Prada, R.; J.A. Viloría; R.J. Pérez; J. Ramos; J. Peña; E. Núñez. 2004. Características de los suelos de la subcuenca Caramacate, Principales variaciones y relaciones con atributos del paisaje. Proyecto iniciativa científica del milenio. Núcleo de investigación y excelencia. Manejo integral de la Cuenca Alta del río Guárico Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela. 108 p.
- Rivas, S.; J. Oballos; G. Ochoa; J. Santiago. 2005. Ensayo metodológico de evaluación de tierras para la captación de agua en dos microcuencas del río Santo Domingo, Mérida, Venezuela. *Interciencia* 30: 347 – 355.
- Rodríguez, J.P.; R. Lazo; L.A. Solórzano; F. Rojas-Suárez. 2005. Venezuela digital. Primera edición. Centro Internacional de Ecología Tropical, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Conservación Internacional Venezuela y UNESCO. Disponible en: <http://ecosig.ivic.ve> [Consultado: julio 2007].
- Shagam, R. 1960. Geología de Aragua central (Venezuela). III Cong. Geol. Venezuela. Caracas, 2: 574–675.
- Shapiro, S.S.; M.B Wilks. 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52: 591–611.
- Tukey, J. 1977. *Exploratory Data Analysis*. Addison-Wesley Publishing Co., Reading, EUA
- Urbani, F.; J.A. Rodríguez. 2003. Atlas geológico de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Coedición FUNVISIS y UCV. 146 p.
- Viloría, J. A.; A. Jácome; G. Elizalde; L. Rangel. 2001. Utilidad de la subdivisión de la depresión del lago de Valencia en unidades de paisaje para la correlación de suelos. *Agron. Trop.* 51: 283 – 300.
- Viloría, J. Y. Núñez, G. Machado; G. Elizalde; M.C. Pineda. 2010. Variación espacial del suelo y el paisaje en la Cuenca alta del río Güey, estado Aragua, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. UCV.* 35: 67-78.
- Zinck, A. 1981. Definición del ambiente geomorfológico con fines de descripción de suelos. CIDIAT. Mérida, Venezuela. 114 p.