

RELACIÓN ENTRE LA ORIENTACIÓN DE LAS LADERAS Y ATRIBUTOS DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RÍO CARAMACATE, ESTADO ARAGUA-VENEZUELA

Gabriel Machado¹ y Jesús Vilorja²

¹Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Cátedra de Agrología y Manejo de suelos, Apdo. Postal 4669, Maracay 2101-A, Aragua, Venezuela, machadog@agr.ucv.ve ²Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Cátedra de Agrología y Génesis de Suelo, vilorjaj@agr.ucv.ve.

RESUMEN

En este trabajo se comprueba la influencia de la orientación de las laderas sobre algunas propiedades edáficas, en la cuenca del río Caramacate. En el área se identificaron dos unidades litológicas diferentes y en cada una de ellas se seleccionaron dos sectores con distinto grado de susceptibilidad a erosión en masa. En cada sector se escogieron dos laderas con orientaciones opuestas y en cada una de ellas se seleccionaron aleatoriamente ocho perfiles de suelo. En comparación con los suelos de laderas orientadas hacia el Sur, aquellos orientados hacia el Norte tienen valores mayores de proporción de macroagregados, retención de humedad, Ca, Mg y Na intercambiables y disponibles, P disponible, CIC y pH. Estos resultados, parecen estar influenciados por la radiación solar diferencial entre laderas, la cual modifica el microclima local, el balance de energía y la intensidad de los procesos de formación del suelo.

Palabras Claves: Suelo-paisaje, variabilidad de suelos, cartografía de suelos, modelo digital de elevación, cuenca alta del río Guárico

INTRODUCCIÓN

Diversas áreas montañosas del país, como la cuenca alta del Río Guárico, sufren problemas de degradación acelerada de sus recursos. La necesidad de establecer planes de uso y manejo sostenible de estas áreas es inminente; pero la introducción de estos planes se ve limitada por la insuficiencia de información básica sobre los recursos naturales. La cuenca alta del Río Guárico no escapa de esta problemática de degradación y falta de información. El desarrollo de la cartografía digital de suelos ofrece nuevas opciones para modelar las relaciones suelo-paisaje que servirían para generar información sobre la distribución espacial de las propiedades edáficas, de una manera más eficiente que los métodos convencionales de levantamiento de suelo (Moore et al. 1993; Machado, 2006). Pero esto requiere un conocimiento básico de las relaciones entre los factores formadores de suelo y las propiedades edáficas en las áreas a cartografiar.

La revisión de estudios previos conduce a suponer que diferencias en la orientación de las laderas tienen influencia sobre cambios en algunas propiedades edáficas, particularmente aquellas relacionadas con el contenido de materia orgánica, nutrientes disponibles, estructura del suelo y retención de humedad (e.g. Poblete, 2004; Rezaei y Gilkes, 2005; Egli *et al.*, 2009). Sin embargo, los estudios citados han sido realizados en países de clima templado. En las áreas cercanas al ecuador y particularmente en Venezuela, se ha prestado poca atención al efecto de la orientación de las laderas sobre las propiedades del suelo.

Esta investigación propone como hipótesis que la orientación de las laderas en regiones montañosas ecuatoriales es una característica del relieve como factor formador de suelos, que incide sobre el desarrollo de propiedades importantes en los mismos. Por lo tanto habrá diferencias estadísticamente significativas en algunas propiedades edáficas entre laderas con orientación opuesta.

METODOLOGÍA

El presente estudio se llevó a cabo en cuenca río Caramacate, distribuida entre la parroquia Tiara del municipio Santos Michelena y el municipio San Sebastián de los Reyes, ambos en el Estado Aragua. El área presenta precipitación media anual de 1.100 mm y temperaturas medias de 22 °C. El paisaje está constituido principalmente por laderas de montaña, escarpadas, con pendientes medias del orden del 40% y altitudes que oscilan entre 500 y 900 msnm. Por otro lado, el área de estudio se encuentra sobre dos unidades litológicas diferentes (Metatobas de El Chino-El Caño y Metalavas de El Carmen) ambas pertenecientes al grupo Villa de Cura. Así mismo en esta área se presenta diversos grados de susceptibilidad a movimientos en masa por deslizamiento (Pineda, 2008).

El procesamiento de la información cartográfica consistió en generar un modelo digital de elevación (MDE) con resolución espacial de 15 m, a través del algoritmo ANUDEM para el área de estudio, utilizando como base información vectorial derivada de ortofotomapas (6746-II-SO; 6746-II-SE; 6746-II-NO y 6746-I-NO), con Proyección UTM, Datum REGVEN, Huso 19, a escala 1:25.000. De este MDE se derivaron mapas de orientación de laderas, altitud y pendiente del área de estudio.

Seguidamente con el software ArcGis (versión 9.2) se seleccionaron sitios potenciales de muestreo que cumplieran con los siguientes requisitos: a) representar diferentes orientaciones de ladera y b) tener condiciones similares de material geológico, grado de susceptibilidad a erosión en masa, altitud, pendiente y posición relativa en la ladera. Finalmente se muestrearon a través del método anidado balanceado, 64 perfiles de suelo (8 muestras por cada ladera seleccionada) estratificados como se indica en Cuadro 1.

Cuadro 1. Combinación de factores del paisaje producto de muestreo.

Unidad Litológica	Susceptibilidad	Altitud (msnm)	Pendiente (%)	Orientación
Metatobas de El Chino-El Caño	Baja	500-700	20-40	E -NO
Metatobas de El Chino-El Caño	Alta	700-900	20-40	NE-SO
Metalavas de El Carmen	Baja	500-700	20-40	E-SO
Metalavas de El Carmen	Alta	700-900	>40	NE-O

Las determinaciones de suelo fueron realizadas en el laboratorio general de suelo de la Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. Las variables químicas y físicas de muestras de suelo superficial (disturbadas y no disturbadas) analizadas fueron: capacidad de intercambio catiónico a pH 7 (CIC); calcio (Cai), magnesio (Mgi) y sodio (Nai) intercambiables extraídos con NH₄OAc; P, Na Mg disponibles, extraídos con Mehlich 1; materia orgánica (MO) por Walkley y Black modificado; pH en agua 1:1; arena gruesa (ag) ; diámetro medio ponderado de agregados (DMP); retención de agua a -10 kPa (RET10) y -33 kPa (RET33); conductividad hidráulica saturada (Ks);

macroporos ($P > 15$) y límites superior (LSP) e inferior (LIP) de plasticidad. Sobre los valores obtenidos se realizaron los siguientes análisis estadísticos: a.- análisis exploratorio de datos, el cual consistió en un análisis de normalidad (*Wilk-Shapiro*) y determinación de valores extremos (Tukey, 1977). b.- análisis de componentes principales (ACP), para conocer la distribución de los datos de suelo en el espacio multivariado y así determinar el conjunto de variables de suelo relacionado con la orientación de las laderas. c.- análisis de correlación univariada (*Spearman Rank*) e importancia de la contribución de cada variable original a la variación total ($IP_j = \sum |E_{ij}| * V_i$, donde IP_j es la importancia relativa de la propiedad edáfica j , $|E_{ij}|$ es el valor absoluto correspondiente a la propiedad j en el vector propio del componente principal i y V_i es el valor propio del componente principal i .), esto con la finalidad de determinar el conjunto de datos de suelo con mayor relevancia dentro del conjunto total. d.- análisis de varianza (*Kruskal-Wallis*) seguido de una prueba de medias (*All-Pairwise Comparisons*) para determinar el conjunto de datos de suelo relacionados significativamente con la orientación de laderas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados obtenidos confirman que en el área de estudio, la orientación de las laderas tiene influencia sobre la variación espacial de algunas propiedades edáficas. Este hallazgo es novedoso en Venezuela porque, en general, el efecto de la orientación de las laderas sobre las propiedades del suelo ha recibido poca atención en regiones tropicales. El Cuadro 2 muestra los resultados del análisis de varianza y prueba de medias, de las propiedades del suelo más relevantes.

El análisis de los distintos subconjuntos de datos analizados revela que solo dos propiedades del suelo (K_s y Ret_{33}) mostraron diferencias significativas cuando se compararon laderas con orientaciones E-NO. El número de propiedades edáficas con diferencias significativas aumentó a cuatro cuando se compararon laderas con orientaciones NE-O o NE-SO y a ocho cuando se compararon laderas con orientaciones E-SO. De igual forma, cuando la comparación no tomó en consideración las laderas orientadas hacia el S, esto es, se compararon las laderas E-NO o NE-O, se encontraron diferencias significativas solo en propiedades físicas del suelo (K_s , DMP, LIP, $P > 15$ mm y Ret_{10}). En cambio, cuando la comparación incluyó laderas orientadas al S, esto es, se compararon laderas NE-SO o E-SO, se encontraron diferencias significativas en propiedades químicas (Cai, Mgi, Nai, Mg, Na, P, pH), físicas (ag, LIP, LSP) y físico-químicas (MO, CIC) del suelo.

Dado que la variación de las propiedades del suelo es más notoria cuando se comparan laderas hacia el Norte y el Sur, las diferencias observadas podrían estar vinculadas a la distribución diferencial de la energía solar. Según NAAP, (2009) en zonas con latitudes cercanas a 10° N, como es el caso del área de estudio, las laderas orientadas hacia el Norte reciben en promedio 5 meses de radiación global (del 16 abril al 16 de agosto), mientras que las laderas orientadas hacia el Sur reciben 7 meses (del 17 agosto al 15 de abril). En adición a esto, gran parte del período en el cual las laderas orientadas hacia el Norte reciben más radiación global coincide con la época de lluvias y de mayor nubosidad. Como consecuencia, la proporción de radiación difusa aumenta en contraposición de la radiación directa, lo que ocasiona mayor cantidad de radiación sin dirección definida y menor cantidad absoluta de radiación. Por el contrario las zonas con caras orientadas hacia el Sur, se ven favorecidas por una mayor incidencia de

radiación directa, debido a una menor cantidad de nubes (época seca) que teóricamente contribuye con una mayor magnitud a la diferenciación de las propiedades del suelo.

Cuadro 2. Promedios de las variables de suelo con diferencias estadísticamente significativas (p: 0,05).

Variables	Metatobas de El Chino- El Caño				Metalavas de El Carmen			
	Pendiente 20-40%				Pendiente 20-40%		Pendiente >40%	
	500-700msnm		700-900msnm		500-700msnm		700-900msnm	
	Baja Suscep.		Alta Sucep.		Baja Suscep.		Alta Sucep.	
	E	NO	NE	SO	E	SO	NE	O
ag					1,5 ^b	4,5 ^a		
CIC					37,0 ^a	28,2 ^b		
Cai					10,9 ^a	8,2 ^b		
DMP							1,7 ^b	2,1 ^a
Ks	12,5 ^b	25,9 ^a						
LIP					42,3 ^a	38,4 ^b	42,6 ^a	38,9 ^b
LSP					52,3 ^a	46,6 ^b		
Mg			137,8 ^b	381,7 ^a				
Mgi					13,0 ^a	9,6 ^b		
Na			6,6 ^b	8,4 ^a				
Nai					1,1 ^a	0,6 ^b		
P			4,7 ^b	7,0 ^a				
P>15							11,7 ^a	9,3 ^b
MO			2,82 ^a	2,63 ^b	2,8 ^b	3,0 ^a		
Ret10							11,6 ^b	18,0 ^a
Ret33	29,0 ^a	24,9 ^b						
pH					5,7 ^a	5,6 ^b		

msnm: rango de altitud (metros sobre el nivel del mar); **Suscep:** susceptibilidad a erosión en masa.

El modelado de la distribución de la radiación solar en el área de estudio corrobora lo antes mencionado, indicando una incidencia de cantidades mayores de radiación global en laderas orientadas hacia el SO, en comparación con las laderas orientadas hacia el E, NE, NO y O (Cuadro 3).

Cuadro 3. Radiación global potencial para las distintas orientaciones de laderas estudiadas (Vatios por horas por metro cuadrado por año)

Orientación	(WHm ⁻²)
NE	1.685.500
E	1.748.670
O	1.758.302
SO	1.826.868
NO	1.704.393

Así, los resultados obtenidos en esta investigación parecen concordar con los de Eger y Hewitt (2008), quienes demostraron que suelos que recibían menor radiación solar

presentaron mayor grado de desarrollo pedogénético y meteorización. Las variaciones en grado de meteorización y liberación de iones también inciden en el mayor desarrollo de la estructura del suelo encontrado en las laderas orientadas hacia el Norte en el área de estudio.

CONCLUSIONES

El análisis de los datos agrupados por unidad litológica, grado de susceptibilidad a la erosión en masa, pendiente y altitud permitió diferenciar los suelos con orientación SO de aquellos orientados al NE y E. De igual forma permitió encontrar diferencias entre las orientaciones NO-E y NE-O.

Las diferencias encontradas entre los suelos de las laderas con diferente orientación son potencialmente útiles para predecir las propiedades del suelo en sitios no muestreados, a partir de modelos digitales de elevación. Sin embargo, estas predicciones deben considerar también las variaciones en la litología, intensidad de los procesos de erosión en masa, altitud y pendiente.

Las diferencias encontradas entre suelos de las laderas con orientaciones opuestas podrían estar vinculadas a la distribución diferencial de radiación solar y precipitación entre ellas. Esto modifica el ambiente microclimático local y el balance de energía y, de esta manera, altera la intensidad de los procesos que participan en la formación del suelo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EGER A.; A. HEWITT. 2008. Soils and their relationship to aspect and vegetation history in the eastern Southern Alps, Canterbury High Country, South Island, New Zealand. *Catena*, 75 (3-15): 297-307
- EGLI, M.; G. SARTORI; A. MIRABELLA; F. FAVILLI; D. GIACCAI; E. DELBOS, 2009. Effect of north and south exposure on organic matter in high alpine soils. *Geoderma*, 149 (1-2): 124-136
- MOORE, I.; P. GESSELER.; G. NIELSEN.; G. PETERSON. 1993. Soil attributes prediction using terrain analysis. *Journal of Soil Science Society of America*, 57: 443–452.
- MACHADO, G. 2006. Predicción de Características del Suelo a partir de un Modelo Digital de Elevación (MDE) de la Cuenca del Río Güey. Trabajo de Grado. Ingeniería Agrícola. Facultad de Agronomía. (UCV). Maracay. 109 p.
- NEBRASKA ASTRONOMY APPLET PROJECT (NAAP). 2009. Seasons and ecliptic simulator. Astronomy education at the University of Nebraska-Lincoln.
- PINEDA, C. 2008. Determinación de áreas susceptibles a la erosión en masa y erosión laminar en unidades de paisaje de la subcuenca de Río Caramacate, localizada en la cuenca alta del Río Guárico. Trabajo de Asenso. Universidad Central de Venezuela. 333p.
- POBLETE, H. 2004. Efecto de la exposición y la pendiente en algunas propiedades de suelo, flora y vegetación de la quebrada de la Plata. Región Metropolitana. Trabajo de Grado. Universidad de Chile. 99 p.
- REZAEI S.; R. GILKES, 2005. The effects of landscape attributes and plant community on soil chemical properties in rangelands. *Geoderma*, 125 (1-2):167-176
- TUKEY, J. 1977. *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley Publishing Company. Reading, Massachusetts. 506 p.