

Homogeneidad edáfica en dos áreas muestras de la cuenca del río Motatán, estado Trujillo-Venezuela

Edaphic homogeneity in two sample areas of the Motatán river watershed, Trujillo State-Venezuela

José G. Mendoza M.* y Edgar J. Jaimes C.*

Recibido: octubre, 2002 / Aceptado: diciembre, 2002

Resumen

Se realizó un ensayo de campo con la finalidad de aplicar una metodología de análisis multivariado para determinar la homogeneidad edafogeomorfológica en dos áreas muestras de 1,5 hectáreas, ubicadas en los sectores de Piedra Azul (300 msnm) y La Ciénega (2.400 msnm), en la cuenca del río Motatán, estado Trujillo. El propósito de esta aplicación es caracterizar unidades de paisaje a escalas mayores o iguales a 1:5.000, que sean útiles para la planificación del uso de la tierra en cuencas productoras de agua sometidas a un uso agropecuario intensivo. Se realizaron 12 observaciones con barreno en cada sector, describiendo algunas características en campo y colectando muestras para los respectivos análisis de laboratorio. Los resultados obtenidos permitieron demostrar la eficiencia de una metodología de análisis multivariado por componentes principales para determinar los grados de uniformidad edáfica que existe dentro de una parcela y entre parcelas, a partir de algunas características que definen dichas parcelas.

Palabras clave: Sistema Automatizado de Homogeneidad de Tierras (SIAHT); Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM).

Abstract

A field research was carried out with the purpose of applying a methodology of multivariate analysis to determine the edafogeomorphological homogeneity of two areas of 1,5 hectares each one located in Piedra Azul (300 msnm) and La Ciénega (2.400 msnm), of the Motatán river watershed, in Trujillo state. Twelve observations were taken with a borer on each sector, describing some of the field characteristics and at the same time collecting samples for the respective laboratory analysis. The obtained results allowed to demonstrate the efficiency of a methodology of multivariate analysis for main components to determine the

* Universidad de Los Andes, Núcleo Universitario "Rafael Rangel", Grupo de Investigación de Suelos y Aguas, Trujillo-Venezuela. E-mail: edgarja@cantv.net; edgarja64@hotmail.com / jgmendoz18@hotmail.com; josegmm@hotmail.com

degrees of edaphic and edafogeomorphological uniformity that exists inside a plot, considering from some characteristics that define this system.

Key words: Lands Homogeneity Automated System (SIAHT); Multiple Homogeneity Index (IHM).

Introducción

El estudio de la variabilidad espacial de los atributos que caracterizan a los sistemas edafogeomorfológicos, representa una condición necesaria para reconocer el alcance geográfico hasta donde varían tales atributos, según la frecuencia de ocurrencia espontánea de los flujos de intercambio de la materia y la energía dentro y entre sistemas, así como con su ambiente, durante el desarrollo de tales sistemas (Jaimes y Elizalde, 1991a). Una forma de conocer esta variabilidad es a través del Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM), definido por los citados autores como un valor o cantidad que representa la homogeneidad de un sistema, a partir del estudio y procesamiento simultáneo de información, representada por un conjunto de variables o características edafogeomorfológicas (morfológicas, fisiográficas, biológicas, químicas y físicas). Tal valor permite establecer comparaciones con la finalidad de estudiar la estructura, el funcionamiento, la evolución, la estabilidad y la variabilidad espacial de dichos atributos dentro del sistema (Jaimes y Elizalde, 1991b).

Para facilitar el procesamiento de la información, Jaimes, Daza y Elizalde (1997) propusieron un Sistema de Información Automatizado de Homoge-

neidad de Tierras (SIAHT), que automatiza el Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM), propuesto por Jaimes (1988), a partir del programa IH en lenguaje Turbo-Basic, creado por Daza y Elizalde (1988). Ello permite generar una herramienta de trabajo versátil para el estudio integrado de la tierra y una metodología de análisis global, en términos de la homogeneidad múltiple del sistema, seleccionando las características o atributos que tengan mayor aporte a dicha homogeneidad.

El objetivo general de este trabajo es determinar la homogeneidad edafogeomorfológica de dos áreas muestras de 1,5 hectáreas, a través de un ensayo de campo, como parte de un proyecto de investigación interinstitucional cuya misión es la de recuperar, con medidas vegetativas, las áreas degradadas en la subcuenca del río Castán, cuenca del río Motatán, en el estado Trujillo.

Revisión de antecedentes

Entre las aplicaciones con fines cartográficos más importantes que se le han dado al IHM destaca la de Gómez (1994), en la Estación Experimental de la Uva, de la Universidad Centro Occidental "Lisandro Alvarado" (UCLA), para evaluar la variabilidad espacial de los suelos

con la finalidad de delimitar áreas homogéneas, especialmente en pequeños lotes en los que el uso del suelo es muy intenso (cultivo de la uva), y donde los atributos de interés no se correlacionan con cambios externamente visibles. Elizalde (1995) la utilizó en un sector de la cuenca del lago de Valencia, para evaluar la incidencia de las inclusiones de suelos y seleccionar el mejor arreglo espacial de los puntos de observación utilizados para definir unidades cartográficas. Por su parte, Pineda (1998) diseñó un modelo para definir tipos de suelos en forma sencilla en un sector de la planicie aluvial del río Motatán, el cual permite a los agrotécnicos o agricultores avanzados identificar los diferentes suelos, utilizando el SIAHT como herramienta para procesar la información y obtener como resultado la definición de tres tipos de suelos fácilmente identificables en campo.

Como técnica de análisis multivariado, Jaimes y Matherano (1996) evaluaron la homogeneidad múltiple de dos áreas muestras ubicadas en la subcuenca del río Castán, en el estado Trujillo, encontrando que el procedimiento para determinar el IHM, propuesto por Jaimes (1988), es una herramienta eficaz para comparar el grado de analogía edáfica o edafogeomorfológica que existe entre áreas y dentro de ellas.

En cuanto a la relación del IHM con la génesis de suelos, Jaimes, Oballos y Ochoa (1992) ensayaron el IHM con datos provenientes de un sector de la cuenca media - alta del río Motatán, en

los estados Mérida y Trujillo, en donde determinaron que para el análisis de la homogeneidad múltiple de los suelos clasificados al nivel de orden es suficiente considerar los atributos que caracterizan al epipedón y al endopedón; sin embargo, afirman que al nivel de gran grupo es necesario utilizar los datos de los perfiles completos. Por su parte, Oballos (1995) utilizó el IHM como herramienta para conocer la evolución de suelos desarrollados a partir de lutitas silíceas, bajo diferentes condiciones bioclimáticas, en el Sector Las Cruces-Santa Elena de Arenales (estado Mérida), y determinar que hubo una relación directa entre el grado de evolución de los suelos y la homogeneidad de sus características físicas, químicas y mineralógicas. Posteriormente, Ochoa, Bracho y Oballos (1997) aplicaron el IHM para comprobar la efectividad del contenido de hierro como característica diagnóstica del grado de evolución pedogenética en una secuencia de suelos, en la Estación Experimental San Eusebio, estado Mérida. También Oballos, Ochoa y Jaimes (1998), utilizando el IHM para dos grupos de suelos (ultisoles e inceptisoles), en el Sector Las Cruces-Santa Elena de Arenales, pudieron comprobar la teoría pedogenética; dicha teoría señala que los suelos son más homogéneos en sus propiedades en la medida que ellos sean más evolucionados. Por su parte, Jaimes y Arellano (1998) utilizaron el SIAHT como método de estudio y análisis para comprobar que existe una relación directa y consistente

entre la producción de biomasa aérea seca y la homogeneidad edáfica, asociada con las características físicas y químicas del epipedón, en un sector de la cuenca baja del río Castán, en el estado Trujillo.

En síntesis, los antecedentes comentados constituyen pruebas de validación consistentes con relación al valor metodológico y analítico del IHM, específicamente para estudios de cartografía y génesis de suelo, así como de las relaciones suelo-paisaje. De allí la necesidad de delimitar unidades de paisaje a escalas de detalle adecuadas (escala \dot{z} 1:5.000), que sean útiles para la planificación del uso de la tierra en cuencas productoras de agua sometidas a un uso agropecuario intensivo.

Materiales y métodos

Descripción general del ambiente en el área de estudio. Las áreas de estudio se localizan en los sectores de Piedra Azul (300 msnm) y La Ciénega (2.450 msnm), en la cuenca del río Motatán, en el estado Trujillo. En el cuadro 1 se pueden observar las características generales que definen el contexto físico de las áreas seleccionadas para la realización del estudio.

Caracterización edafogeomorfológica. Se realizó mediante la descripción de observaciones con barreno hasta 1,20 m de profundidad o hasta donde lo permitiera la pedregosidad interna. Las características edafogeomorfológicas

descritas en el campo y obtenidas en el laboratorio son las siguientes: horizonte del suelo (HOR), espesor del epipedón (ESP), claridad (Clar) y pureza (Pur) del color en húmedo, fragmentos gruesos (F.G.), pendiente media (PEND), forma del terreno (F.T.), concentración de hidrónios (H_3O^+), contenidos de carbono orgánico (C.O.), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), arena (a) y arcilla (A).

Determinación del Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM). Tomando en cuenta el ACP, Jaimes (1988) definió el Índice de Homogeneidad Múltiple (IHM) como el producto acumulado de los valores propios mayores o iguales a uno ($\lambda_j \dot{z}$ 1,0000). Para este cálculo se multiplica el primer valor propio por el segundo; el producto obtenido se multiplica por el tercero y así sucesivamente hasta utilizar todos los valores propios mayores o iguales a uno (Jaimes y Elizalde, 1991b). Algebraicamente se representa así:

$$IHM = \prod_{j=1}^m \lambda_j \quad \text{Ec. 1}$$

donde:

p = "... Producto acumulado de ..."

lj = Valor propio del j-ésimo componente principal cuya magnitud es \dot{z} 1,0000.

m = Número de componentes principales cuyo valores propios son \dot{z} 1,0000.

Para determinar el IHM se utilizó el Sistema de Información Automatizado

Cuadro 1: Características generales del ambiente físico de las áreas muestras seleccionadas.

Características	Áreas muestras	
	Sector Piedra Azul	Sector La Ciénega
Tipo de paisaje	Planicie	Montaña
Relieve	Ligeramente accidentado	Accidentado
Pendiente media (%)	3 - 7	16 - 30
Altitud media (msnm)	300	2 450
Material parental	Detritos transportados	Pizarras y esquistos limosos
Geología (Formación)	Aluviales (Qt-Qpc)	Mucuchachí (Pcm)
Zona de Vida	Bosque seco tropical	Páramo
Vegetación	Arbórea y arbustiva	Frailejón
Uso de la tierra	Pastizales	Barbechos y pastizales
Precipitación media anual (mm)	1.255,2	930,60
E.T.P. media anual (mm)	1.644,2	730,08
Déficit hídrico anual (mm)	389,0	
Temperatura media anual (° C)	27,12	15,81

de Homogeneidad de Tierras (SIAHT), propuesto por Daza y Elizade (1988).

Contribución relativa de los atributos del suelo en la homogeneidad de los sistemas. El IHM se estimó primero para la totalidad de los catorce (14) atributos considerados en las dos áreas de estudio. Posteriormente, se estimaron los IHM parciales (IHMp) para determinar la contribución de una variable en particular sobre la homogeneidad de cada una de las parcelas, haciendo correr el SIAHT con matrices conformadas por las restantes trece variables que se

consideraron en el estudio. Es decir, para determinar la contribución de la primera variable, se corrió una nueva matriz donde no se incluían los valores correspondientes a esta primera variable y así, sucesivamente, con la segunda, la tercera hasta la última variable. Este procedimiento permitió obtener una base de datos con valores de IHMp que permitió establecer comparaciones en cuanto a la mayor o menor contribución de cada atributo edafogeomorfológico en la homogeneidad múltiple de los horizontes superficiales (epipedones) y subsuperficiales (endopedones).

Resultados y discusión

1. *Determinación de la homogeneidad múltiple (IHM).*

En el cuadro 2 se puede observar que, para los sectores Piedra Azul y La Ciénega, los IHM de los endopedones (60,60 y 43,59) son mayores que los IHM de los epipedones (44,54 y 41,59). Es probable que la causa esté asociada con la mayor incidencia de los procesos de migración (iluvación) de arcilla, desde el epipedón y su posterior acumulación en el endopedón, a consecuencia de los procesos formadores (transferencias y transformaciones de la materia y la energía que entra y se mueve en la matriz del suelo desde su origen), que estarían dominando la evolución de estos suelos, manifestándose en un mayor efecto homogeneizante a través del incremento de los contenidos de arcilla en profundidad, evidenciado por recubrimientos de arcilla en la cara de los agregados del suelo (películas de arcilla o argilanes).

2. *Contribución relativa de los atributos del suelo en la homogeneidad total del sistema.*

En el cuadro 2 se presenta una columna de valores correspondientes a los Índices de Homogeneidad Múltiples parciales (IHMP), cuyas magnitudes representan los cambios de homogeneidad que sufre el sistema si se considera la exclusión de alguno de los atributos. El orden creciente que se muestra en dicha columna

indica el peso que ejerce la ausencia de cada uno de los atributos sobre el valor del IHM; por lo tanto, en el sector Piedra Azul se puede ver que la variable cuya ausencia afecta en menor grado la homogeneidad de los epipedones y endopedones es la forma del terreno, siendo el espesor del epipedón y el contenido de fósforo del endopedón las que más influyen en su homogeneidad global.

En el área de La Ciénega, la variable cuya ausencia afecta en menor magnitud la homogeneidad del epipedón es el contenido de fósforo y, para el endopedón, es la concentración de calcio y las que más contribuyen en la homogeneidad global del sistema son el contenido de arena para el epipedón y para el endopedón, el contenido de fragmentos gruesos.

En el cuadro 2 aparece una columna correspondiente a las diferencias parciales que existen entre los IHMP obtenidos por la exclusión de algún atributo y el IHM global resultante de considerar todas las variables simultáneamente. El valor obtenido en esta columna significa el peso que sobre la homogeneidad del sistema tiene la ausencia de una variable en particular. Así, la contribución relativa de los atributos del suelo en la homogeneidad total del sistema se puede observar comparando las diferencias entre los valores de IHM y el IHMP. Mientras más amplia sea esa diferencia mayor es la contribución de la variable en la homogeneidad total del

Cuadro 2: Valores de los Índices de Homogeneidad Múltiples globales (IHM) y parciales (IHMp) y de la contribución relativa de los atributos edafogeomorfológicos en la homogeneidad total de los epipedones y endopedones que caracterizan los suelos en las dos áreas muestras estudiadas

	Epipedones					
	Piedra Azul			La Ciénega		
	Atributo Excl.	IHMp	IHM-IHMp	Atributo Excl.	IHMp	IHM-IHMp
+ H O M O G E N E I D A D -	ESP	26,49	18,05	a	25,50	16,09
	PEND	27,10	17,44	Clar	25,77	15,82
	P	29,08	15,46	A	27,80	13,78
	K	30,03	14,51	F.T.	28,32	13,27
	A	30,20	14,34	K	28,44	13,15
	Pur	32,89	11,65	Pur	29,10	12,48
	Mg	34,42	10,11	Mg	29,24	12,34
	a	35,28	9,26	C.O.	30,20	11,39
	Ca	35,74	8,80	PEND	30,46	11,13
	[H+]	35,81	8,73	ESP	30,50	11,09
	C.O.	37,03	7,50	[H+]	32,28	9,30
	Clar	37,28	7,26	F.G.	32,81	8,77
	F.G.	38,03	6,51	Ca	34,65	6,94
F.T.	38,47	6,07	P	34,82	6,77	
Ninguno (IHM)	44,54		Ninguno (IHM)	41,59		
	Endopedones					
	Piedra Azul			La Ciénega		
	Atributo Excl.	IHMp	IHM-IHMp	Atributo Excl.	IHMp	IHM-IHMp
+ H O M O G E N E I D A D -	P	33,53	27,07	F.G.	27,15	16,43
	Pur	40,35	20,25	Pur	30,06	13,53
	C.O.	42,20	18,40	[H+]	30,55	13,04
	a	42,47	18,13	P	30,96	12,63
	Ca	42,73	17,86	F.T.	31,25	12,33
	PEND	43,14	17,46	PEND	31,46	12,13
	Clar	43,52	17,08	A	32,36	11,23
	[H+]	44,01	16,59	Mg	32,37	11,22
	Mg	44,89	15,70	a	34,30	9,29
	ESP	45,08	15,52	Clar	35,15	8,44
	F.G.	45,71	14,89	K	35,39	8,20
	A	45,82	14,78	C.O.	35,68	7,91
	K	47,33	13,27	ESP	35,82	7,77
F.T.	52,23	8,37	Ca	37,79	5,79	
Ninguno (IHM)	60,60		Ninguno (IHM)	43,59		

sistema. De esta manera, en el sector Piedra Azul, los atributos que menos contribuyen a la homogeneidad del epipedón son: forma del terrero, contenido de fragmentos gruesos y claridad del color en húmedo; así mismo, los que más favorecen dicha homogeneidad son: el espesor del horizonte, pendiente media y el contenido de fósforo. Para el endopedón, las que menos favorecen a la homogeneidad son: forma del terreno, contenido de potasio y contenido de arcilla; y las que más contribuyen son el contenido de fósforo, la pureza del color en húmedo, y el contenido de carbono orgánico.

En el sector La Ciénega, los atributos que menos favorecen la homogeneidad del epipedón son: fósforo, calcio y fragmentos gruesos; así mismo, los que más contribuyen a dicha homogeneidad son: el contenido de arena, claridad del color en húmedo y arcilla. Para el endopedón, las que menos contribuyen en la homogeneidad son: calcio, espesor del horizonte y carbono orgánico; y las que más favorecen son el fragmentos gruesos, la pureza del color en húmedo y la concentración de hidrogeniones.

Conclusiones

Tomando en cuenta los resultados anteriormente discutidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La mayor homogeneidad de los suelos del área de Piedra Azul está vinculada, principalmente, a los contenidos de arcilla y la pureza del color de sus epipedones, así como por el contenido de arcilla y la claridad del color en los endopedones. Por su parte, la menor homogeneidad en los suelos del sector La Ciénega está relacionada con el contenido de fósforo en el epipedón y los tenores de calcio en su horizonte subsuperficial.
2. Respecto a los endopedones de los suelos descritos en las áreas de Piedra Azul y La Ciénega, éstos exhiben una mayor homogeneidad que sus epipedones, lo que está asociado con una mayor intensidad del proceso de migración de arcilla (argilización) y, por lo tanto, a un mayor tiempo de evolución pedogénica.

Agradecimiento

Al Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT), de la Universidad de Los Andes (ULA), por el financiamiento a este proyecto bajo el código NURR-C-237-98-01-E. Al Laboratorio de Servicios de Análisis de Suelos, del Núcleo Universitario "Rafael Rangel" (NURR), de la ULA. Al Sr. José Luis Maldonado, propietario de las parcelas que sirvieron de área demostrativas.

Referencias citadas

- DAZA, M. y ELIZALDE, G. 1988. *Programa IH para la determinación del índice de homogeneidad múltiple mediante microcomputadoras*. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela. (Inédito) 20 p.
- ELIZALDE, G. 1995. *Ensayos del índice de homogeneidad múltiple en la cartografía detallada de suelos*. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela. (Mimeografiado) 15 p.
- GOMEZ T., J. M. 1994. *Variabilidad espacial de los suelos de la Estación Experimental del Instituto de la Uva-UCLA*. **Venesuelos**. 2(1): 2-9.
- JAIMES, E. 1988. *Determinación de índices de homogeneidad múltiples globales en sistemas pedogeomorfológicos de la Cordillera de la Costa, Serranía del Litoral Central*. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela. Tesis Doctoral. 226 p.
- JAIMES, E. y ELIZALDE, G. 1991a. *Determinación de un índice de homogeneidad múltiple en sistemas pedogeomorfológicos montañosos*. **Revista Agricultura Andina**. 6: 25-46.
- JAIMES, E. y ELIZALDE, G. 1991b. *Procedimiento para calcular el índice de homogeneidad múltiple en sistemas pedogeomorfológicos*. **Revista Agricultura Andina**. 6: 47-64.
- JAIMES, E. y MATHERANO, J. 1996. *Homogeneidad edafogeomorfológica en dos áreas muestras. Subcuenca del río Castán, estado Trujillo, Venezuela*. **Revista Facultad de Agronomía**. (Universidad del Zulia). 13: 711-723.
- JAIMES, E. y ARELLANO, R. 1998. *Homogeneidad edáfica relacionada con la biomasa herbácea. Subcuenca del río Castán, estado Trujillo, Venezuela*. **Revista Agronomía Tropical**. 48(3): 305-333.
- JAIMES, E.; OBALLOS, J. y OCHOA, G. 1992. *Determinación de la homogeneidad múltiple usando diferentes niveles de taxones en perfiles de suelos de la cuenca media y alta del río Motatán. Estados Mérida y Trujillo. Venezuela*. **Suelo y Planta**. 2:433-446.
- JAIMES, E.; DAZA, M. y ELIZALDE, G. 1997. *Sistema de información automatizado de homogeneidad de tierras (SIAHT). Versión PT 1.5. Manual del usuario y Software*. Instituto de Edafología. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela. (Mimeografiado) 20 p.
- OBALLOS J. 1995. *Caractérisation des sols de la région de Las Cruces-Santa Elena de Arenales (Mérida-Venezuela). Contribution á la connaissance de la pédogenése en montage tropicale humide*. Universidad de Toulouse – Le Mirail. Francia. Tesis Doctoral. 204 p.
- OBALLOS, J.; OCHOA, G. y JAIMES, E. 1998. *Homogeneidad múltiple de los suelos de Las Cruces – Santa Elena de Arenales, Mérida, Venezuela*. *16° Congreso Mundial de la Ciencia del*

J.G.Mendoza M. y E.J. Jaimes C.

Suelo. Résumés. Volume II. Registro Científico N° 147. Montpellier–Francia. p. 323.

OCHOA, G.; BRACHO, H. y OBALLOS, J. 1997. *Los óxidos de hierro y su significación pedológica en una secuencia de la Estación Experimental San Eusebio. Estado Mérida. Venezuela.* Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. (Mimeografiado).

PINEDA, N. 1998. *Definición de tipologías de suelos para la evaluación de tierras de la planicie aluvial del río Motatán, estado Trujillo.* Tesis de Maestría. Postgrado en Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela. 109 p.