

Homogeneidad edafogeomorfológica en dos áreas muestras. Subcuenca del río Castán, estado Trujillo, Venezuela.¹

Edafogeomorphologic homogeneity in two sample areas.
River Castan basin, Trujillo State, Venezuela.

Edgar Jaimes²
Jorge Matherano²

Resumen

El estudio de la variabilidad espacial de los atributos edafogeomorfológicos, constituye un requisito importante para reconocer los límites geográficos dentro de los cuales fluctúan dichos caracteres, entre y/o dentro de una unidad cartográfica dada. Por lo tanto, la variación espacial de las unidades de mapeo se expresa mediante un patrón definido, que será complejo o uniforme según el grado de homogeneidad edafogeomorfológica que exhiban aquellas. El trabajo se centró en la evaluación de la homogeneidad múltiple de dos áreas muestras ubicadas en la subcuenca del río Castán. Se utilizó el Índice de Homogeneidad Multivariado (IHM). Los resultados obtenidos permitieron comprobar que el área de Ortiz es más heterogénea que la ubicada en la parte baja de la subcuenca (UPI). Sin embargo, en el área muestra de UPI solo uno de los sistemas delineados en ella es más homogéneo que cualesquiera de los mapeados en el área de Ortiz. **Palabras claves:** Índice de homogeneidad multivariado, sistema edafogeomorfológico.

Abstract

The study of the space variability of the edafogeomorphologic attributes, constitutes an important requisite to know the geographic boundaries into which fluctuate such characters, between and/or within a given cartographic unit. Therefore, the space variation of the mapping units is expressed by means of a defined pattern, that will be complex or uniform according to the grade of

Recibido el 21-09-95 • Aceptado el 17-07-96

1. Proyecto N° NURR-C-079-90-01, financiado por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT) de la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela. Trabajo presentado en el XIII Congreso Venezolano de la Ciencia del Suelo. 15 al 20 de octubre de 1995. Maracay, Venezuela

2. Grupo de Investigación de Suelos y Aguas (GISA), Villa Universitaria El Prado, Edif. E, 1er Piso, NURR - ULA, Trujillo, Venezuela. Telf: 072 - 711951.

edafogeomorphologic homogeneity that those exhibit. The work was centered in the evaluation of the multiple homogeneity of two sample areas located in the Castán river basin. It was used the Index of Multivaried Homogeneity (IMH). The results obtained allowed to prove that the Ortiz area is more heterogeneous than the area located in the low part of the basin (UPI). However, in the sample area of the UPI only one of the outlined systems in it is more homogeneous than any of the mapped systems in the Ortiz area.

Key words: Index of multivaried homogeneity, edafogeomorphologic systems.

Introducción

El sistema edafogeomorfológico es la parte más externa de la litósfera, tridimensionalmente complejo, compuesto de rocas consolidadas, suelos y regolito (componentes sólidos), así como por la hidrósfera (componentes líquidos), que interactúan entre sí y con el medio ambiente. Fisiográficamente es un cuerpo contínuo, con una variabilidad temporo-espacial intrínseca, cuyo conocimiento se adquiere a partir del estudio de observaciones puntuales (3).

Para analizar la variabilidad espacial de estos cuerpos de "Paisaje de Suelos", con propósitos científicos o tecnológicos, es necesario determinar su patrón de distribución, a través de la delineación de unidades cartográficas. Estas unidades frecuentemente están referidas a más de un taxón de suelo, en cuya caracterización se han tomado en cuenta numerosos atributos, razón por la cual la variabilidad pedológica de estas unidades cartográficas excede al de las clases taxonómicas dominantes, debido a la ocurrencia de "inclusiones" de otros taxones cuyas proporciones han sido preestablecidas por los criterios de la

cartografía de suelos.

En consecuencia, la utilización de un índice de homogeneidad multivariable, permitiría evaluar la incidencia de las "inclusiones" considerando simultáneamente todos los atributos tomados en cuenta para la definición de las clases, y seleccionar el mejor arreglo espacial de los puntos de observación ubicados en cada unidad cartográfica, de tal forma que el mayor número de ellos considerados como "inclusiones", quede excluido de la unidad cartográfica y se incorpore a nuevas unidades constituidas por observaciones de mayor similitud. Este procedimiento es relativamente sencillo de realizar cuando se trata de delinear un solo atributo, pero resulta muy complejo si el número de atributos es elevado.

El propósito de este trabajo es evaluar la homogeneidad de los sistemas edafogeomorfológicos del neados por (4), en dos áreas muestras de la subcuenca del río Castán en Trujillo (Venezuela), a partir del índice de homogeneidad múltiple definido por (2) y el sistema de cálculo automatizado propuesto por (1).

Materiales y métodos

La información básica proviene de un levantamiento de suelos de primer orden (muy detallado), realizado por Mendoza (4) a escala mayor a 1:5000. Dicho estudio incluyó dos áreas muestras contrastantes: una ubicada en Páramo de Ortiz y otra en la Unidad de Producción Integrada (UPI), ambas localizadas en la subcuenca alta y baja del río Castán, respectivamente. Se seleccionaron sesenta observaciones del epipedón, treinta por cada área muestra y diez por cada sistema edafogeomorfológico delineado en dichas áreas. Los atributos seleccionados están indicados en el cuadro 1. Los datos analíticos se muestran en los cuadros 2 y 3.

El cálculo de la homogeneidad se realizó con base al índice propuesto por Jaimes (2), cuya fórmula es la siguiente:

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

Donde:

IHM = Índice de Homogeneidad Multivariado.

Π = "... Producto acumulativo de ...".

λ_j = Valor propio (Eigenvalue) del j-ésimo componente principal cuya magnitud sea mayor o igual a uno.

m = Número de componentes principales cuyos valores propios son mayores o iguales a uno.

Se determinó el IHM para diferentes agrupamientos de datos, utilizando el procedimiento automatizado de (1), elaborado en lenguaje Turbo-Basic. Los agrupamientos tomaron en cuenta los siguientes criterios:

a. Homogeneidad por área muestra:

IHM_{UPI} ; n = 30 obs.

IHM_{Ortiz} ; n = 30 obs.

b. Homogeneidad por sistema edafogeomorfológico:

IHM_{UPI-1} ; n = 10 obs. IHM_{0-1} ; n = 10 obs.

IHM_{UPI-2} ; n = 10 obs. IHM_{0-2} ; n = 10 obs.

IHM_{UPI-3} ; n = 10 obs. IHM_{0-3} ; n = 10 obs.

Para determinar la contribución relativa de cada una de las características edafogeomorfológicas descritas a la homogeneidad multivariada de las áreas muestras y de los sistemas delineados en ellas, se aplicó el procedimiento de cálculo propuesto por (3), basado en la fórmula siguiente:

$$C_i = \sum_{j=1}^m [(x_{ij})^2 x(\lambda_j / n)] \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

C_i = Contribución de la i-ésima variable a la homogeneidad total del sistema edafogeomorfológico.

X_{ij} = Vector propio de la i-ésima variable del j-ésimo valor propio (Eigenvalue).

λ_j = Valor propio (Eigenvalue), correspondiente al j-ésimo componente principal.

n = Número de variables estudiadas.

m = Número de componentes principales cuyos valores propios son mayores o iguales a uno.

Cuadro 1. Atributos edafogeomorfológicos descritos en cada área de muestra y en los sistemas delineados dentro de ellas.

Var. N°	Descripción	Símbolo	Unidades
1	Humedad retenida a capacidad de campo	CC	%
2	Humedad retenida a punto de marchitez permanente	PMP	%
3	Infiltración básica	Ib	cm/h
4	pH	pH	meg/L
5	Conductividad eléctrica	CE	ds/m
6	Carbono orgánico	CO	%
7	Fósforo	F	mg/kg
8	Densidad aparente	D	g/cm ³
9	Arena	a	%
10	Arcilla	A	%
11	Fracción gruesa	FG	%
12	Espesor del epipedón	EE	cm
13	Profundidad del suelo	PS	cm
14	Color epipedón value	Value	Adimensor al
15	Color epipedón chroma	Chroma	Adimensor al
16	Rugosidad	R	cm/m
17	Forma del terreno	FT	cm/m
18	Pendiente media	Pm	%
19	Pendiente máxima	PM	%
20	Orientación del terreno	OT	Grados

Cuadro 2. Matriz de variables edafogeomorfológicas que caracterizan a los sistemas delineados en el área de Ortíz.

S	Nº	Variables edafogeomorfológicas (a)																			
		1	2	3	4(b)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I	1	32.7	15.7	20.4	5.9	0.13	6.0	4.45	0.9	28.8	16.6	50.7	14.8	30.8	22.8	2.3	1.6	30.7	14.0	24.9	20.9
	2	33.1	18.7	39.0	10.2	0.31	5.6	53.5	0.92	14.9	27.2	33.5	23.8	45.3	2.8	2.5	0.5	15.2	22.8	25.6	33.4
	3	35.4	17.8	29.2	7.6	0.1	3.8	38.0	0.93	23.6	22.1	53.8	23.8	35.0	3.0	3.5	7.0	229.8	21.2	35.5	23.4
	4	35.7	20.4	21.2	6.2	0.45	20.1	68.0	0.84	28.6	15.2	24.3	18.3	62.3	2.7	2.2	1.2	20.8	11.6	17.1	32.4
	5	30.3	17.1	27.3	8.0	0.06	15.9	52.0	1.02	21.7	23.8	39.7	17.8	34.3	3.0	2.5	3.1	113.1	18.1	43.1	34.7
	6	33.9	17.7	37.8	7.4	0.26	7.3	50.6	0.93	20.9	16.8	27.0	21.3	34.7	3.0	2.7	2.8	55.2	12.5	17.5	28.4
	7	35.0	16.5	30.0	7.2	0.91	5.2	69.6	1.18	23.2	21.7	45.4	17.0	26.7	2.3	2.3	0.8	17.9	13.6	20.5	31.7
	8	34.4	18.3	33.6	6.8	0.12	5.4	49.3	1.22	21.6	17.2	34.9	19.7	42.7	3.8	2.7	2.8	38.2	7.8	13.8	30.1
	9	33.4	16.8	22.2	4.8	0.1	4.6	44.0	0.9	23.6	41.4	44.3	16.5	40.5	3.8	3.5	0.8	11.8	10.2	16.3	29.8
	10	31.5	15.8	20.4	7.0	1.0	16.0	45.6	1.03	24.2	13.2	46.9	18.7	23.3	2.7	2.3	3.4	46.8	7.8	11.1	35.3
II	1	36.0	14.2	23.4	4.0	0.02	7.5	94.0	0.88	19.2	15.1	23.21	20.0	50.0	2.0	2.0	4.8	176.1	19.8	32.0	20.4
	2	32.8	15.6	36.0	9.1	0.5	6.3	48.0	0.89	11.14	17.3	0	23.0	54.0	3.0	3.0	2.6	34.0	7.3	12.0	19.6
	3	38.0	19.5	27.8	9.1	0.23	7.6	32.0	1.14	23.2	17.9	32.7	18.0	53.0	3.0	2.0	9.8	249.7	14.9	23.9	18.8
	4	35.0	14.2	28.2	7.5	0.42	5.7	70.0	0.93	14.7	14.8	7.9	18.5	54.0	2.5	1.8	1.9	26.7	9.4	12.4	32.2
	5	33.6	18.3	33.0	6.0	0.26	0.6	88.0	1.0	18.8	23.5	33.9	11.0	52.0	3.0	3.0	0.9	18.3	13.6	21.0	33.6
	6	38.3	21.5	38.4	6.0	0.25	7.9	36.0	1.0	23.8	18.5	35.4	17.0	51.0	3.0	2.0	6.0	209.5	22.9	32.3	31.0
	7	33.1	17.3	30.0	9.1	0.02	5.9	40.0	1.08	14.2	25.9	35.1	21.0	53.0	3.0	3.0	1.3	54.8	25.8	45.4	23.6
	8	33.9	17.6	29.4	7.4	0.2	6.1	56.0	0.85	16.6	18.1	59.9	29.0	59.0	2.5	2.0	1.6	33.8	12.8	21.6	23.8
	9	31.6	18.8	36.0	5.2	0.08	6.2	69.5	0.98	25.9	22.6	51.9	18.0	57.0	3.3	4.5	-0.2	-3.1	9.0	11.2	34.7
	10	33.7	24.2	32.0	9.1	0.09	7.4	31.0	1.0	30.3	12.5	0	48.0	60.0	3.0	2.0	0.6	5.6	6.5	7.9	31.9
III	1	33.7	15.5	40.8	9.1	0.08	6.3	63.0	0.87	31.7	19.6	28.5	32.0	71.5	2.8	3.0	10.0	319.7	21.1	23.7	32.8
	2	38.3	37.7	37.8	3.6	0.12	7.2	45.0	1.33	33.4	15.3	0	30.0	35.0	3.0	2.0	1.4	53.0	19.5	34.8	27.9
	3	31.1	18.4	24.6	6.5	1.49	5.9	78.0	0.95	23.0	18.1	35.5	25.0	55.0	3.5	2.5	4.0	136.1	23.9	34.1	20.8
	4	28.0	15.6	37.8	6.0	0.3	7.1	36.0	0.93	26.0	12.5	29.3	26.0	55.0	3.0	2.5	4.0	81.4	13.2	19.3	19.9
	5	30.5	15.2	40.8	7.5	0.27	6.3	50.0	0.96	30.7	10.7	35.8	16.0	54.6	2.5	2	2.0	51.1	16.4	23.2	31.9
	6	30.1	17.6	34.2	4.9	0.1	7.3	38.0	0.83	20.2	17.9	51.9	21.0	60.0	4.0	2	2.6	62.0	14.8	28.0	28.8
	7	37.7	18.4	28.2	6.7	0.09	6.2	69.0	0.87	21.8	12.5	29.1	28.0	62.0	5.0	2	3.4	53.8	11.1	17.8	33.2
	8	35.7	22.4	38.4	7.8	0.08	6.8	48.0	0.94	26.4	18.8	42.4	25.0	46.0	2.7	2.7	3.4	66.8	12.2	18.9	28.2
	9	34.7	19.7	37.2	5.5	0.12	6.0	47.5	0.96	23.6	23.7	38.4	16.0	57.0	3.3	3	0.9	15.0	10.9	13.8	33.5
	10	34.4	14.5	33.5	6.7	0.2	5.8	72.6	0.93	16.8	17.5	24.9	48.0	62.0	2.0	2	2.8	99.0	24.7	29.5	31.6

(a) Ver identificación y unidades de medida en el cuadro 1.

(b) Concentración del ión hidrónico (H_3O^+) x 10^{-6} , $Cmol \times L^{-1}$ en la solución del suelo

Cuadro 3. Matriz de variables edafogeomorfológicas que caracterizan a los sistemas delineados en el área muestra de la UPI.

S	NºO	Variables edafogeomorfológicas (a)																			
		1	2	3	4(b)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
I	1	25.2	12.3	12.4	1.5	0.112	2.7	57.1	1.75	30.0	22.4	33.0	26.0	96.7	3.0	3.3	0.9	8.0	5.0	5.6	23.3
	2	27.2	10.8	14.2	1.7	0.04	2.6	29.5	1.60	29.4	21.8	19.3	24.5	98.5	3.0	3.0	-0.4	-2.5	3.6	3.6	20.4
	3	27.1	11.5	12.8	2.0	0.065	2.1	65.0	1.33	28.8	28.8	22.1	25.5	100.5	3.5	3.0	-0.6	-2.9	3.0	4.4	17.1
	4	26.2	9.3	16.2	1.5	0.065	2.6	28.0	1.83	31.9	25.6	22.0	25.0	87.0	3.8	3.5	-0.7	-6.0	4.5	5.4	22.5
	5	28.0	8.2	13.9	2.3	0.06	2.5	41.0	1.63	25.9	22.4	14.9	28.0	42.5	4.0	3.0	1.2	4.4	2.4	2.5	16.9
	6	30.8	9.4	15.4	2.0	0.107	3.2	47.3	1.36	24.2	24.2	16.5	20.3	90.7	3.3	3.3	0.3	1.2	3.1	3.4	22.1
	7	31.3	10.7	20.5	4.0	0.06	2.1	36.0	1.37	18.7	25.1	19.4	29.3	96.0	3.3	3.3	0.9	4.9	2.4	3.6	14.8
	8	28.5	10.0	14.4	2.4	0.06	2.6	75.7	1.30	20.8	24.4	13.2	33.3	85.0	3.7	3.3	0.9	5.0	3.0	3.5	5.9
	9	26.4	8.6	22.8	1.8	0.028	2.2	28.0	1.57	33.5	19.6	14.6	21.7	86.7	3.3	3.0	-1.6	-8.1	2.2	3.5	20.9
	10	31.3	10.5	12.5	2.2	0.023	2.5	83.0	1.36	25.3	21.2	8.1	40.7	75.0	4.7	4.0	0.1	0.6	3.5	3.9	24.1
II	1	30.4	11.2	18.0	2.2	0.06	2.9	23.0	1.54	30.0	14.3	23.7	27.0	114.0	3.5	4.0	0.2	0.9	2.8	3.0	16.8
	2	28.0	10.3	18.8	2.0	0.01	3.2	68.0	1.29	30.8	19.3	1.9	24.0	73.0	3.0	4.0	0.8	3.9	3.5	4.4	19.1
	3	31.1	10.9	15.2	2.7	0.06	1.7	50.0	1.58	16.2	23.9	15.9	15.0	111.0	3.0	3.0	-0.1	-0.7	3.1	3.4	20.6
	4	30.1	13.4	11.5	2.0	0.04	2.7	34.0	1.37	17.3	23.2	20.9	19.0	57.0	3.5	2.5	-0.3	-1.0	2.3	3.2	16.1
	5	30.9	11.4	14.7	1.8	0.04	1.9	68.0	1.58	20.8	26.5	3.0	24.0	88.5	3.0	3.0	1.2	16.8	5.8	3.6	20.6
	6	31.3	13.3	14.6	1.8	1.01	1.8	62.0	1.40	16.4	24.1	15.7	38.0	76.0	3.0	3.0	-1.0	-5.9	3.5	4.0	16.4
	7	30.0	10.5	19.8	1.6	0.04	2.3	4.0	1.25	36.0	19.3	29.5	36.0	78.0	4.0	2.0	0.5	2.5	3.6	4.3	17.5
	8	29.6	10.3	18.0	3.8	0.03	2.4	36.5	1.24	23.7	20.7	10.2	33.0	96.0	3.8	3.5	0.6	4.4	4.1	5.8	21.9
	9	28.4	10.5	19.1	2.7	0.004	2.4	46.0	1.47	24.4	22.1	16.2	25.0	25.0	4.0	4.0	-1.0	-4.8	3.4	3.9	21.1
	10	28.9	9.8	16.1	2.0	0.04	2.1	38.5	1.47	30.7	21.7	3.4	25.5	97.0	3.5	3.5	-0.1	-0.6	4.3	5.3	16.6
III	1	32.4	11.5	4.6	2.3	0.07	2.1	23.8	1.22	25.9	21.0	22.1	32.0	87.0	3.0	3.5	1.4	8.5	2.9	4.2	21.1
	2	32.7	11.5	4.5	1.8	0.02	2.3	56.6	1.44	30.0	24.0	8.4	33.5	87.0	3.5	3.8	0.1	0.2	2.2	2.5	20.9
	3	32.1	11.9	5.1	3.2	0.09	3.8	41.6	1.19	25.8	21.0	25.2	44.0	99.0	4.0	3.3	-0.4	-1.8	2.9	3.2	21.4
	4	31.7	11.0	6.4	2.1	0.06	2.7	42.8	1.45	14.2	23.9	17.3	27.5	89.0	3.8	3.0	-0.4	-1.4	2.5	2.8	21.6
	5	31.3	10.9	3.9	3.0	0.09	1.3	54.5	1.36	19.8	21.3	16.6	44.0	87.5	3.5	3.3	1.7	9.4	1.8	3.1	18.3
	6	20.2	8.4	4.7	2.2	0.07	1.0	51.5	1.28	30.5	17.2	14.1	18.0	79.0	3.0	3.0	0.5	2.3	2.7	2.9	22.7
	7	29.3	10.3	4.1	6.7	0.02	1.5	56.0	1.01	22.4	22.1	0	29.0	88.0	4.0	4.0	0.4	1.3	2.2	2.5	17.5
	8	29.5	9.2	3.8	1.8	0.06	2.3	65.2	1.50	36.8	19.0	8.8	37.0	90.7	3.3	3.7	0.8	3.8	2.3	3.3	17.7
	9	28.6	9.1	7.6	2.5	0.03	2.1	51.3	1.44	27.1	19.7	25.2	27.7	75.7	3.2	2.5	0.3	1.9	2.2	3.7	16.8
	10	32.5	10.7	8.8	1.9	0.06	3.1	67.7	1.15	20.5	20.1	5.5	25.0	37.3	4.8	3.7	0.1	0.2	1.6	1.8	19.2

(a) Ver identificación y unidades de medida en el cuadro 1.

(b) Concentración del ión hidrónico (H_3O^+) x 10^{-6} , Cmol x L^{-1} en la solución del suelo.

Resultados y discusión

1. Determinación de la homogeneidad multivariada. La base para realizar este análisis está en la utilización de la matriz de valores propios (λ), también llamados "Eigenvalue", que se definen como las raíces características correspondientes a la matriz de datos originales (cuadros 2 y 3, con los cuales se efectuó el análisis por componentes principales).

Según (2), la multiplicación acumulativa de los valores propios mayores o iguales a uno ($\lambda_j > 1,00000$) permite estimar el grado de homogeneidad de un sistema, tomando en cuenta todos los atributos que lo caracterizan.

Por ejemplo, en el caso del área muestra de Ortiz, los valores propios seleccionados para calcular el IHM fueron los siguientes: 3.2786; 2.5156; 2.2481; 2.0706; 1.6717; 1.3360; 1.1918 y 1.0788. El IHM obtenido fue de 110. De la misma forma se procedió para el área muestra de UPI y los sistemas edafogeomorfológicos delineados dentro de ellas. Los resultados de estos cálculos se presentan en el cuadro 4, observándose que el área muestra de la UPI exhibe un mayor grado de homogeneidad edafogeomorfológica (IHM = 124), con respecto a la de Ortiz (IHM = 110). El coeficiente de determinación (R^2), con un valor por encima del 75%, indica un grado de predictibilidad de dicho índice que es significativo para fines de comparación y análisis del mismo. Al aplicar el mismo procedimiento para los datos agrupados en los diferentes sistemas que conforman a cada área muestra, se evidencia que el sistema UPI - III

(IHM = 438) es el más homogéneo, explicando ello el mayor valor de homogeneidad determinado para el área de UPI. Este resultado confirma el análisis edafogeomorfológico realizado por Mendoza (4), quien comprobó una mayor complejidad fisiográfica en el área muestra de Ortiz en comparación con la de UPI, toda vez que en la primera se presentan atributos morfológicos (forma de la superficie, rugosidad y orientación del terreno, así como pendientes medias y máximas) que son muy variables espacialmente. Por el contrario, el área de la UPI exhibe, en términos generales, una mayor uniformidad espacial en cuanto a dichos atributos. No obstante, localmente un área de mayor complejidad puede contener sistemas más homogéneos que aquellos pertenecientes a áreas que muestran mayor uniformidad multivariada.

En efecto, los sistemas Ortiz - II y III, exhiben comparativamente mayor homogeneidad que sus pares de UPI - I y II. Sin embargo, la mayor homogeneidad global de UPI está asociada con el mayor valor del IHM de UPI - III (438) el cual es significativamente mayor al de Ortiz - I (425).

Otro aspecto que es importante destacar es la marcada tendencia a incrementarse el valor del IHM en la medida que se disminuye el número de observaciones, lo cual no significa que éstas se expresen en términos de unidad por superficie. Sin embargo, es lógico esperar que dicha reducción esté asociada con el incremento de la escala de detalle cartográfico, confirmando estos resultados la hipótesis según la

cual a medida que incrementa la escala de representación más uniformes son los sistemas que se pueden caracterizar con la misma densidad de observaciones con la que se estudian las áreas que los contienen. Igual tendencia se observa con los coeficientes de determinación de los IHM, que a nivel de los sistemas presentan valores mayores al 85%.

En el cuadro 4, también se presentan los resultados de la determinación del IHM, considerando únicamente la incidencia de las variables morfográficas, que son las responsables de incidir en los valores del IHM, en términos edafogeomorfológicos. Tomando en cuenta los atributos edáficos, el área de UPI es ligeramente más homogénea (IHM = 28) que la de Ortiz (IHM = 25). Dada la poca diferencia entre ambos valores (3 dígitos), la tendencia observada hace pensar que los suelos del Páramo de Ortiz son tan homogéneos como los de UPI a pesar de los fuertes contrastes relacionados con las combinaciones de factores y procesos que incidieron en su formación. A niveles más detallados, los suelos mapeados en Ortiz tienden a ser más homogéneos que los de UPI.

Estos resultados concuerdan con las teorías acerca del origen de los suelos en ambos sectores. En efecto, Mendoza (4), determinó que la génesis de los suelos de Ortiz está asociada a procesos de alteración "in situ", es decir que el manto de suelos que cubre el área muestra estudiada proviene de un mismo material parental, a diferencia

de los originados en el área de UPI, que además de provenir de diferentes fuentes han sido transportados y posteriormente depositados por procesos aluviales, coluviales y coluvioaluviales, los cuales inciden en la heterogeneidad edáfica de los sistemas delineados en esta última área de estudio.

2. Determinación de la contribución relativa de los atributos edafogeomorfológicos al IHM.

Para conocer el efecto (C_i) que ejercen las variables edafogeomorfológicas (A_i) en la magnitud del IHM, se utilizaron en forma conjunta las matrices de valores (λ_j) y vectores propios ($X_{i,j}$). Se generaron ocho matrices, dos para cada área muestra y seis por cada sistema delineado en cada una de ellas. En el cuadro 5 se presenta la obtenida para el área de Ortiz. Según el método ACP, empleado en este ensayo, ambas matrices son conformables, toda vez que las magnitudes indicadas como vectores propios, son en realidad coeficientes de correlación simples (r), a través de los cuales se puede determinar el grado de vinculación entre las variables (A_i) y los valores propios (λ_j), correspondientes a cada componente principal. En tal sentido, el cuadrado de dicho coeficiente (r), define el coeficiente de determinación (R^2), es decir, el grado de contribución de cada variable al valor propio respectivo, por lo que su suma debe ser igual a uno, es decir, que se cumpla la siguiente igualdad:

$$\sum_{i=1} (X_{i,j})^2 = (X_{1,j})^2 + (X_{2,j})^2 + \dots + (X_{n-1,j})^2 + (X_{n,j})^2 = 1 \quad \text{Ec. 4}$$

Cuadro 4. Índices de homogeneidad edafomorfológica y edáfica determinados en las áreas muestras y los sistemas delineados en ella.

Áreas muestras y sistemas	Número de observaciones	Índices de homogeneidad multivariada		(*) R ² (%)	
		Edafomorfológica	Edáfica		
Ortíz	30	110	76.95	25	71.53
UPI	30	124	79.26	28	80.89
Ortíz-I	10	425	90.02	67	86.73
Ortíz-II	10	291	85.71	86	87.93
Ortíz-III	10	385	95.43	75	93.21
UPI-I	10	270	89.93	66	86.77
UPI-II	10	311	94.34	58	92.09
UPI-III	10	438	96.59	85	88.28

Donde:

$(X_i)_j^2$ = Cuadrado del vector propio de la i-ésima variable, del j-ésimo valor propio.

n = Número de variables estudiadas.

Luego, aplicando la ecuación 3 se determinó la contribución de cada variable (CA) al IHM. En la columna del extremo derecho del cuadro 5 aparecen los resultados obtenidos para el área de Ortiz. En el Cuadro 6, se presenta un resumen de los cálculos realizados para todos los casos analizados. En la parte inferior de dicho cuadro aparecen los porcentajes de homogeneidad total explicada que se obtiene sumando las contribuciones parciales debidas a cada uno de los atributos, es decir, 76.95% es la sumatoria de $3.90 + 4.30 + \dots + 4.14 + 3.85$. Este valor coincide con el de R^2 , indicado en el cuadro 4, porque representa el grado de homogeneidad explicada por el IHM. Para el caso del área de Ortiz, los atributos que mayor contribución tienen en su IHM (110) son el pH, la forma del terreno, la pendiente media, la humedad a PMP, la rugosidad y la pendiente máxima. Las variables que menos peso ejercen son la conductividad eléctrica, el espesor del epipedón, la intensidad y pureza del color, la fracción gruesa y la densidad aparente. En el área muestra de UPI (IHM = 124) su mayor homogeneidad edafogeomorfológica es debida principalmente a la humedad a CC, la intensidad del color y a los atributos morfológicos, con la excepción de la orientación del terreno que

junto a los contenidos de arcilla, humedad a PMP, fósforo, pureza del color y densidad aparente, son las que menos contribuyen con la homogeneidad global de dicha área.

Un cuidadoso análisis de los valores reportados por el Cuadro 6 para los sistemas delineados en cada área muestra, identificados como I, II y III, permite puntualizar lo siguiente:

a. Los atributos edáficos que tienden a aportar mayor homogeneidad a los sistemas son la humedad a PMP, el pH y la intensidad del color.

b. Las características del suelo que más varían espacialmente son la densidad aparente, la conductividad eléctrica, la pureza del color, el espesor del epipedón y la profundidad del suelo.

c. Es significativo el peso que ejercen en los IHM los atributos morfológicos, principalmente la rugosidad y la pendiente media del terreno, independientemente del grado de complejidad intrínseca del área que los contiene.

d. Se detectó que la orientación del terreno como expresión de la exposición de la máxima pendiente, es una característica morfológica muy variable en los sistemas delineados en la UPI. Esto lleva a pensar que la variabilidad local en la intensidad de procesos sedimentarios disímiles, originada por la superposición de depósitos aluviales, coluviales y coluvio-aluviales, tienden a crear patrones de formas de terreno que generan una cierta complejidad en sistemas que aparentan una gran uniformidad edafogeomorfológica.

Cuadro 5. Contribución de los atributos edafogeomorfológicos a la homogeneidad total del sistema Ortiz, cuya IHM=110.

Atributos (A)		Valores propios (λ_j) Mayores o iguales a uno.								C_{λ_j}
		3.2786	2.5156	2.2481	2.0706	1.6717	1.336	1.1918	1.0788	
		Vectores propios (X_{ij}) de los VP (λ_j)								
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	
1	Humedad a CC	0.2244	-0.1873	0.1821	0.0576	0.276	-0.0746	-0.0928	-0.535	3.9
2	Humedad a PMP	0.0864	-0.497	0.2954	-0.0097	0.0333	-0.1237	-0.0007	-0.0007	4.3
3	Infiltración básica	0.1019	-0.1968	-0.0131	0.4509	0.0143	0.1372	0.029	0.4467	3.98
4	pH	0.1296	0.0647	-0.1994	0.1428	0.0315	0.6588	0.2119	-0.1445	5.2
5	Cond. eléctrica	-0.0591	0.1122	-0.131	-0.4048	0.1189	0.1079	-0.1307	0.2571	2.7
6	Carbono orgánico	-0.0245	-0.0732	-0.1113	-0.4131	-0.1429	-0.0319	-0.5385	-0.2024	4.1
7	Fósforo	-0.064	0.1914	-0.1608	-0.043	0.4289	-0.4807	-0.0454	0.1163	4
8	Densidad aparente	0.0732	-0.3051	0.3743	-0.1482	0.144	0.2226	-0.1161	0.1569	3.78
9	Arena	0.0535	-0.2598	0.1607	-0.1227	-0.4308	-0.2744	0.2056	0.2944	4.12
10	Arcilla	-0.1362	0.2611	0.398	0.2423	0.0869	0.0676	0.0974	-0.1573	3.8
11	Fracción gruesa	-0.1127	0.3937	0.2457	-0.0222	-0.2028	-0.0194	0.1778	0.042	3.38
12	Espesor de epipedón	0.1883	-0.2599	-0.2835	0.1767	0.0838	0.0115	0.1431	0.0608	2.86
13	Prof. del suelo	0.0941	-0.0075	-0.3561	0.3838	-0.0324	-0.3245	0.0802	-0.0903	3.89
14	Color VALUE	-0.151	-0.0625	0.1323	0.1891	-0.3248	-0.1531	-0.1795	-0.3795	3
15	Color CHROMA	-0.256	0.1665	0.2276	0.3153	-0.1153	0.0086	0.0288	0.2159	3.4
16	Índice de rugosidad	0.4191	0.1409	-0.0548	-0.0057	-0.3581	0.0097	-0.0672	-0.0642	4.28
17	Índice de forma del terreno	0.465	0.1735	0.0114	0.0219	-0.2504	-0.0816	0.0268	0.0121	4.46
18	Pendiente media	0.3981	0.1986	0.1768	0.0576	0.2538	-0.1051	0.1857	0.1582	4.4
19	Pendiente máxima	0.3679	0.1833	0.2944	-0.0729	0.1962	-0.0555	0.1476	0.0256	4.14
20	Orientación del terreno	-0.221	-0.1201	0.0453	0.1328	0.1635	-0.0539	0.6467	-0.0497	3.85

$\Sigma = 76.95$

Cuadro 6. Contribución relativa de los atributos edafogeomorfológicos a la homogeneidad total de las áreas muestras y sistemas delineados en ellas.

	Atributos	Ortiz	UPI	Sistemas edafogeomorfológicos					
				Ortiz			UPI		
				I	II	III	I	II	III
1	Humedad a CC	3.9	4.83	4.71	4.67	4.77	4.78	4.93	4.78
2	Humedad a PMP	4.3	3.53	4.91	4.53	4.86	4.83	6.37	4.86
3	Infiltración básica	3.98	3.7	4.61	3.56	4.98	4.33	4.46	4.86
4	pH	5.2	3.89	4.81	4.96	4.43	4.25	4.99	4.92
5	Cond. eléctrica	2.7	4.21	4	4.49	5	4.57	4.45	4.27
6	Carbono orgánico	4.1	4.04	4.94	3.04	4.81	4.5	3.97	5.43
7	Fósforo	4	3.5	4.63	4.68	4.97	4.45	4.83	4.93
8	Densidad aparente	3.78	3.7	2.84	3.74	4.95	4.34	4.85	4.87
9	Arena	4.12	4	4.72	4.73	4.93	4.86	5	4.85
10	Arcilla	3.8	3.33	4.3	4.94	4.87	3.43	4.87	4.97
11	Fracción gruesa	3.38	4.03	4.21	2.96	4.3	4.62	4.81	4.9
12	Espesor de epipedón	2.86	4.13	4.44	4.74	4.6	4.68	4.28	4.76
13	Prof. del suelo	3.89	3.83	4.35	4.4	4.56	4.54	5.27	4.65
14	Color VALUE	3	4.65	4.81	4.95	4.91	4.88	4.86	4.82
15	Color CHROMA	3.4	3.6	4.63	3.67	4.67	4.13	4.08	4.62
16	Índice de rugosidad	3.28	4.5	4.76	4.55	4.99	4.72	4.98	4.93
17	Índice de forma del terreno	3.46	4.53	4.54	4.88	4.93	4.37	4.74	4.89
18	Pendiente media	4.4	4.45	4.99	4.42	4.72	4.95	4.95	4.93
19	Pendiente máxima	4.14	4.42	4.42	4.72	4.77	4.86	4.8	4.46
20	Orientación del terreno	3.85	2.4	4.4	3.08	4.41	3.84	4.43	4.87
21	Porcentaje de homogeneidad explicada	76.95	76.2	90.0	85.7	95.4	89.9	94.3	96.5
	I H M	110	124	425	291	385	270	311	438

Conclusiones

Tomando en consideración los resultados antes discutidos, se llegaron a las conclusiones siguientes:

1. El procedimiento para determinar el IHM utilizando el método ACP, propuesto por Jaimes (1988), es una técnica de análisis multivariado eficaz para comparar el grado de analogía edáfica o edafogeomorfológica que existe entre áreas y dentro de ellas.

2. En el ensayo realizado se comprobó que el área de la UPI contiene mayor homogeneidad edafogeomorfológica que la de Ortiz, la cual posee una mayor complejidad morfológica en comparación con aquella.

3. Considerando sólo la incidencia de los atributos edáficos que caracterizan a los epipedones, el área de Ortiz tiende a exhibir igual o mayor

homogeneidad que la UPI.

4. El ensayo realizado permitió conocer el efecto parcial que ejercen los atributos edafogeomorfológicos en la homogeneidad multivariada dentro y entre áreas o sistemas.

5. Para el área de Ortiz las variables más significativas en su homogeneidad global son el pH, la forma del terreno, la pendiente media, la humedad a PMP, la rugosidad de la superficie y la pendiente máxima.

6. En la UPI, cuyo IHM es mayor que en Ortiz, la mayor contribución a esta homogeneidad interna es debida a la humedad a CC, la intensidad del color del epipedón y a los atributos morfológicos con excepción de la orientación del terreno.

Literatura citada

1. Daza, M. y G. Elizalde. 1988. Programa IH para la determinación del índice de homogeneidad múltiple mediante microcomputadoras. Instituto de Edafología, Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela.
2. Jaimes, E. 1988. Determinación de índices de homogeneidad múltiples globales en sistemas pedogeomorfológicos de la cordillera de la costa, serranía del litoral central (Tesis Ph.D.) Postgrado Ciencia del Suelo. Facultad de Agronomía, UCV, Maracay, Venezuela. 226 pp.
3. Jaimes, E y G. Elizalde. 1991. Procedimiento para calcular el índice de homogeneidad múltiple en sistemas pedogeomorfológicos. Agricultura Andina. Vol 6, 47-64. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
4. Mendoza, J. 1992. Análisis pedogeomorfológico de dos sectores de la subcuenca del río Castán, estado Trujillo (Tesis de Grado). Depto. de Ingeniería, Núcleo Universitario "Rafael Rangel", Universidad de Los Andes. Trujillo, Venezuela. 145 pp.