

ANÁLISIS MULTIVARIADO PARA DISEÑAR LA RESTAURACIÓN DE LA LLANURA ULTRAMÁFICA DE LA RESERVA NATURAL DE MARAGUÁN EN CAMAGÜEY, CUBA**Zoe Griselda Acosta Gutiérrez, E. Martínez Quesada, J. Plasencia Fraga, D. Godínez Caraballo y N. Enríquez Salgueiro***Centro de Investigaciones de Medio Ambiente de Camagüey, Cisneros núm. 105 (altos) el Ángel y Pobre. CP 70 100 Camagüey, Cuba
Teléfono: (53) (32) 296349. E-mail: zoe@cimac.cu***RESUMEN**

En la llanura ultramáfica de la Reserva Natural de Maraguán en Camagüey, Cuba y a partir de 2005, se desarrollaron diferentes trabajos encaminados a profundizar en el conocimiento de la flora y la vegetación del área, que faciliten la elaboración de una estrategia de rehabilitación en aquellas zonas en las cuales se ha identificado un alto grado de antropización. Con la información obtenida en dichos estudios y con vistas a reducir la dimensionalidad de la misma, se construyó una matriz de variables que se procesó empleando la técnica de componentes principales (ACP), la cual arrojó la definición de cinco componentes que explican más del 90% de las variaciones que se aprecian en la zona. Las variables que aportaron un mayor peso en la formación del factor más importante (F1) fueron, en su mayoría, aquellas relacionadas con los suelos del área (índice de plasticidad, límites máximos y mínimos de retención de agua, niveles de modificación ecólogo-paisajística, humedecimiento del paisaje y profundidad del suelo); mientras que en relación a la vegetación, las variables más importantes fueron el número de parapófitos (PAR) seguido del de especies con estructuras de regulación hídrica (ESPER). Se

concluye que el análisis estadístico utilizado, explica las relaciones que se establecen entre las principales variables existentes en los ecosistemas y que el mismo puede aportar una información valiosa, que sirva de punto de partida para el diseño de la rehabilitación de los ecosistemas.

Palabras claves: análisis estadístico multivariado, rehabilitación de ecosistemas, sabanas sobre roca ultramáfica.

ABSTRACT

In the ultramafic plain of the Natural Reservation of Maraguán, in Camagüey, Cuba, various efforts have been carried out since 2005 to increase knowledge of the flora and vegetation of the area to facilitate the elaboration of a rehabilitation strategy, particularly for those areas in which high levels of anthropogenic disturbance have been identified. With the information obtained from these studies and the aim of reducing its dimensionality, a matrix of variables was built and was processed using principal components analysis (PCA). Five components explained more than 90% of the variation recognized in the area. The variables contributing in the greatest degree to the formation of the most important factor

(F1) were mostly those related to the soils of the reservation (plasticity index, maximum and minimum limits of water retention, levels of ecological - landscape modification, moisture of the landscape and depth of soil), whereas in regard to the vegetation, the most important variables were the number of parapophytes (EVEN) followed by the number of species with structures for water regulation (ESPER). We conclude that the statistical analysis used explains the relationships among the main variables in the ecosystem and that it contributes valuable information that serves as a starting point for the design of ecosystem rehabilitation.

Key words: statistical multivariate analysis, rehabilitation of ecosystems, ultramafic savannas.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Barreto *et al.* (2005), la Reserva Natural de Maraguán en Camagüey, Cuba, se caracteriza por su riqueza florística, lo cual se pone de manifiesto por la presencia de alrededor de 140 especies de plantas superiores que representan a 45 familias de la flora cubana, donde se destacan Fabaceae, Poaceae y Rubiaceae; el endemismo del 33%, lo que se relaciona fundamentalmente con las características particulares de los suelos y la presencia de un alto número de especies reportadas como útiles para el hombre (64.5%).

En la actualidad se aprecia que la llanura perteneciente a dicha reserva ha sufrido, en algunas partes, cierto grado de antropización, lo que se manifiesta a través de la presencia de especies invasoras como el Marabú (*Dichrostachys cinerea* (L.) Wight *et Arn.*), relictos de plantaciones de *Pinus*

caribaea Morelet y espacios ralos que evidencian tala y quema. Todo lo anterior presupone la necesidad de que se desarrollen acciones inmediatas para la conservación *in situ* de los valores naturales que se hallan en la misma.

En tal sentido, a partir de 2005 se realizaron estudios de flora y vegetación en esta área con vistas a profundizar en el conocimiento del estado actual de la misma. Para ello se llevaron a cabo las siguientes acciones: precisar las modificaciones ecólogo-paisajísticas; estudiar la vegetación y la flora y compilar la información requerida en relación a las principales variables abióticas.

El propósito del presente trabajo consistió en elaborar y procesar una matriz con los principales datos derivados de los estudios anteriores, para con ello reducir la dimensionalidad de la información y precisar aquellos elementos de mayor significación que se deberán considerar en la elaboración de la estrategia de rehabilitación.

MATERIAL Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en la sabana seminatural que se localiza en la Reserva Natural de Maraguán, entre los 21° 20' 11" y 21° 22' 50" de latitud N y los 77° 49' 17" y 77° 42' 15" de longitud W en Camagüey, Cuba.

El análisis se hizo teniendo en cuenta 19 variables, las que se precisaron en cada una de las once (11) listas fitocenológicas trabajadas para la formulación de una matriz de 19x11. La relación de las variables y sus códigos se presentan en la tabla 1.

El procedimiento estadístico de los datos se realizó por técnicas multivariadas, mediante

Tabla 1. Relación de variables y códigos.

Núm. de caso	Variable	Código
1	Número total de especies (no)	ESPT
2	Número de especies con estructura de regulación hídrica (no)	ESPER
3	Número de especies endémicas (no)	ESEND
4	Cobertura del área muestreada (%)	CB
5	Número de especies con valor de uso (no)	ESVU
6	Número de parapófitos* (no)	PAR
7	Número de apófitos** (no)	APO
8	Número de antropófitos*** (no)	ANTRO
9	Nivel de modificación ecólogo – paisajísticas****	NIV
10	Tipo de suelo*****	TS
11	Erosión del suelo*****	E
12	Profundidad del suelo*****	P
13	Humificación del suelo*****	H
14	Nivel de humedecimiento del paisaje*****	NH
15	Límite mínimo de retención de agua del suelo (mm)	LIN
16	Índice de plasticidad del suelo	IP
17	Límite máximo de retención de agua del suelo (mm)	LIMA
18	Pendiente (grados)	PED
19	Altitud (m)	ALTU

* Especies sinantrópicas de origen desconocido (Ricardo *et al.* 1995).

** Especies sinantrópicas de origen nativo (Ricardo *et al.* 1995).

*** Especies sinantrópicas de origen externo, introducidas con o sin intención (Ricardo *et al.* 1995).

**** Se refiere al nivel de modificación ecólogo-paisajística en la que se encuentra la muestra, según el mapa elaborado para el área (Enríquez *et al.*, 2006a).

***** Según mapa de suelo (Dirección Provincial de Suelos, 1986).

***** Se refiere al nivel de humedecimiento del paisaje en el que se encuentra la muestra, según el mapa elaborado para el área (Enríquez, *et al.*, 2006b).

un análisis factorial de componentes principales (ACP), como método de extracción de factores según el programa SYSTAT (Wilkinson, 1992), donde la ecuación básica de cada vector está dada por:

$$Y_i = a_{i1} x_1 + a_{i2} x_2 + \dots + a_{ij} x_j + \dots + a_{ik} x_k$$

para : $i = 1, 2, \dots, p$

$$j = 1, 2, \dots, k$$

y las siguientes restricciones del modelo:

$$\begin{aligned} a_{i1} a_{ip} &= 1 && \text{para } i = p \\ a_{i1} a_{ip} &= 0 && \text{para } i \neq p \end{aligned}$$

Para facilitar la interpretación de las componentes y la contribución de cada variable a los factores seleccionados, se aplicó el

método de rotación ortogonal VARIMAX de Kaiser (1958).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 2 se muestra el comportamiento de las medias y sus desviaciones típicas de variables incorporadas al estudio. En la misma se aprecia, en sentido general, que el área se caracteriza por contar con un número adecuado de especies presentes, el cual oscila entre 16 y 31 (CV = 19%) entre las muestras, con una cobertura que puede ir desde el 60 hasta el 95% del área (CV = 13%).

Los endemismos se manifiestan en un orden del 20% del total de especies, lo que se pudiera considerar como bajo, sin embargo, la presencia de abundantes poblaciones de *Coccothrinax pseudorrigida* León y *Coccothrinax cowellii* Britt., ambos endemismos estrictos, así como la existencia de asociaciones vegetales únicas justifican la importancia del área.

El 56% de la flora presenta algunas estructuras y características que, de acuerdo con Plasencia (2006) y E. Martínez Quezada (comun. pers.), contribuyen a la adaptación de las mismas a las condiciones edafo-climáticas. Dentro de las estructuras encontramos: la presencia de espinas, hojas suculentas y pubescencia foliar, mientras que la característica más sobresaliente es la presencia de hojas nanófilas (54.2% del total de las especies).

Como se aprecia en la tabla 3, el análisis de las matrices de correlación entre las variables consideradas en el estudio, manifestó el cumplimiento de las condiciones requeridas para ser factorizable, de acuerdo con los

criterios expresados por Tabachnick y Fidell (1989), quienes aconsejaron este proceso sólo para aquellas matrices que cuentan con algunas correlaciones superiores a 0.3, pudiendo ser este valor más pequeño para tamaños elevados de muestra.

En la tabla 4 se exponen los principales resultados del análisis multivariado. En la misma se aprecia que el trabajo se reduce al análisis de cinco componentes claramente definidos (F1, F2, F3, F4 y F5), cumpliéndose el objetivo del método en cuestión, como una técnica de reducción de la dimensionalidad según Ato *et al.* (1990).

La salida que ofrece el programa SYSTAT para estos resultados, incluye las cargas rotadas por componente, la varianza explicada por componente rotado y el porcentaje de la varianza total explicada por cada componente principal (tabla 4).

Cliff (1987) expresó que, por término general, se consideran como aceptables aquellos componentes o factores cuyos valores característicos expliquen un 70% o más de la varianza total de la matriz en función de la factibilidad del estudio, y Linares (1990) recomienda un 90%, lo que hace más riguroso el análisis. En este caso, los cinco primeros componentes aportan más del 90% de la varianza explicada (tabla 4).

Otra prueba que corrobora la selección se aprecia en la figura 1, donde se presenta el diagrama de la pendiente que se obtiene al graficar en un plano cada componente principal con su correspondiente valor propio. En esta figura se observa la forma de la quebrada y se determina el punto a partir del cual se manifiesta una caída; este punto precisa la cantidad de componentes

Tabla 2. Medias y desviaciones estándar de las variables.

Código	Media (n = 11)	Desv. estándar	Código	Media (n = 11)	Desv. estándar
ESPT	25.6	5.10	E	3.4	0.51
ESPER	14.4	2.25	P	3.5	0.51
ESEND	5.1	1.64	H	3.5	0.52
CB	85.9	11.36	NH	3.0	1.00
ESVU	7.3	3.00	LIM	30.7	3.18
PAR	0.9	0.54	IP	21.3	3.02
APO	8.0	2.32	LIMA	52.1	6.23
ANTH	1.1	1.94	PED	3.0	6.00
NIV	1.5	0.52	ALTU	122.2	9.78
TS	6.2	7.24			

principales a seleccionar, en nuestro caso los cinco primeros.

El análisis de la tabla 4 pone de manifiesto que las variables que aportaron un mayor peso en la formación del factor más importante (F1) fueron, en su mayoría, aquellas vinculadas a los suelos del área (IP, LIMA, NIV, LIM, P, NH) cuestión que se justifica, atendiendo a los criterios de Berazaín *et al.* (1985) y Borhidi (1988), quienes abundaron acerca de las características particulares de los suelos derivados de rocas ultramáficas serpentizadas, conocidas como “serpentininas” y sus efectos sobre la flora y la vegetación que se desarrolla en estos ecosistemas.

En relación a las variables inherentes a la vegetación, la existencia de especies PAR fue la que más aportó a la varianza. Esta categoría sinantrópica que se refiere a las especies de origen desconocido, se vincula además muy estrechamente con NIV (tabla 3) y la abundancia de estas especies determina la adopción de criterios de antropización.

Atendiendo a los resultados, las variables que definen al primer factor se deben considerar, en primer lugar, a la hora de trazar la estrategia de rehabilitación del área bajo estudio, por cuanto las mismas explican la mayor variabilidad presente en el ecosistema.

Una estrategia a seguir pudiera ser que en cada nivel de modificación ecológica presente en la sabana (NIV), el cual está definido básicamente por el sinantropismo de las especies que se encuentran presentes (PAR), se deberán tener en cuenta en primer lugar las características básicas del suelo (IP, LIM, LIMA, P, NH), para proponer las especies a priorizar en la rehabilitación, con énfasis en aquellas que tengan estructuras de regulación hídrica (ESPER) las cuales posibilitan una mayor adaptación al ecosistema.

CONCLUSIONES

Los endemismos en el área constituyen el 20% del total de las especies presentes, dentro de las cuales se destacan las abundantes

Tabla 3. Matrices de correlación entre las variables.

	ESPT	ESPER	ESEND	CB	ESVU
ESPT	1.000				
ESPER	0.640	1.000			
ESEND	0.506	0.397	1.000		
CB	0.679	0.064	0.451	1.000	
ESVU	0.816	0.280	0.279	0.637	1.000
PAR	0.096	0.112	-0.216	-0.067	0.202
APO	0.489	0.421	-0.157	0.114	0.516
ANTH	0.028	- 0.583	0.382	0.504	0.167
NIV	0.106	0.271	-0.170	-0.161	-0.214
TS	-0.431	-0.054	0.184	- 0.610	-0.472
E	0.018	-0.128	-0.044	0.373	0.324
P	-0.232	-0.155	0.064	0.008	0.041
H	0.044	0.070	0.403	-0.176	-0.232
NH	0.470	0.311	0.000	0.352	0.266
LIM	0.033	0.201	0.105	-0.184	-0.297
IP	0.132	0.230	0.194	-0.048	-0.193
LIMA	0.100	0.237	0.168	-0.109	-0.237
PEND	-0.366	-0.096	0.325	-0.477	-0.377
ALTU	-0.393	-0.176	0.186	-0.371	-0.251
	PAR	APO	ANTH	NIV	TS
PAR	1.000				
APO	0.239	1.000			
ANTH	-0.179	-0.228	1.000		
NIV	- 0.549	-0.247	-0.295	1.000	
TS	0.056	-0.285	-0.032	-0.289	1.000

Tabla 3. Continuación.

	PAR	APO	ANTH	NIV	TS
E	0.501	0.171	0.134	-0.690	-0.239
P	0.516	0.000	0.111	-0.833	0.346
H	-0.516	-0.330	0.092	0.467	0.289
NH	-0.371	0.516	-0.106	0.766	-0.663
LIM	-0.615	0.078	-0.153	0.869	-0.040
IP	-0.611	0.073	-0.098	0.839	-0.154
LIMA	-0.616	0.075	-0.128	0.861	-0.100
PEND	-0.155	-0.201	0.177	-0.223	0.940
ALTU	0.345	-0.379	0.106	-0.743	0.842
	E	P	H	NH	LIM
E	1.000				
P	-0.828	1.000			
H	-0.828	0.633	1.000		
NH	-0.198	-0.574	0.191	1.000	
LIM	-0.701	-0.700	0.739	0.688	1.000
IP	-0.621	-0.689	0.723	0.752	0.984
LIMA	-0.665	-0.700	0.733	0.725	0.994
PEN	-0.231	0.319	0.319	-0.533	0.044
ALTU	0.208	0.687	-0.100	-0.921	-0.544
	IP	LIMA	PEND	EXPO	ALTU
IP	1.000				
LIMA	0.996	1.000			
PEND	-0.053	-0.005	1.000		
EXPO	-0.052	-0.004	0.750	1.000	
ALTU	-0.609	-0.579	0.754	0.180	1.000

Tabla 4. Matriz de correlaciones. Resultado del análisis de componentes principales (cargas rotadas de las variables).

Variables	Factores				
	1	2	3	4	5
ESPT	0.284	-0.702	0.387	0,472	-0.122
ESPER	0.308	-0.312	-0.089	0.845	-0.011
ESEND	0.082	0.022	0.799	0.453	-0.247
CB	0.042	-0.701	0.585	-0,170	-0.242
ESVU	-0.048	-0.774	0.386	0.211	0.030
PAR	-0.608	-0.334	-0.346	0.301	-0.011
APO	0.179	-0.551	-0.076	0.286	0.709
ANTRO	-0.171	0.035	0.788	-0.496	-0.041
NIV	0.934	0.068	-0.223	-0.051	0.160
TS	-0.349	0.811	0.098	0,408	0.139
E	-0.687	-0.520	0.044	-0.148	0.207
P	-0.865	-0.034	0.098	0.092	0.281
H	0.638	0.543	0.286	0.173	-0.309
NH	0.829	-0.457	0.027	-0.103	0.250
LIM	0.921	0.305	0.021	0.028	0.135
IP	0.935	0.191	0.097	0,014	0.076
LIMA	0.935	0.242	0.067	0,037	0.099
PED	-0.259	0.787	0.348	0,313	0.293
ALTU	-0.778	0.533	0.132	0.299	-0.030
Varianza explicada	7.200	4.693	2.870	2.129	1.397
Total varianza explicada (%)	95.11				

poblaciones de las especies estrictas *Coccothrinax pseudorrigida* León y *Coccothrinax cowellii* Britt.

El 56% de las especies encontradas en el área está provista de alguna estructura y/o característica que le permiten adaptarse a las condiciones edafo-climáticas de la zona. Dentro de las características manifestadas se destaca la abundancia de especies con hojas nanófilas (54.2% del total de las especies).

Las variables que arrojaron un mayor peso en la formación del factor más importante

(F1) fueron, en su mayoría, aquellas vinculadas a los suelos del área (IP, LIMA, NIV, LIM, P, NH).

De las variables relativas a la vegetación, la presencia de especies sinantrópicas de origen desconocido (PAR) constituyó la de mayor peso en el análisis y la misma se vinculó directamente con el nivel de modificación ecológica (NIV) presente.

Se comprueba que el análisis estadístico utilizado (ACP), explica las relaciones que se establecen entre las principales variables

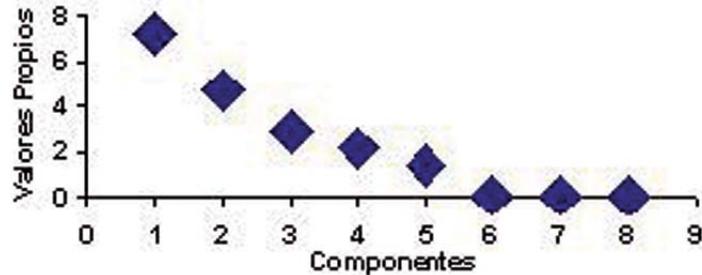


Fig. 1. Diagrama de la pendiente.

medidas en el área y reduce la dimensionalidad de la información precisando aquellas variables de mayor significación, las cuales se deben considerar como punto de partida para el diseño de la rehabilitación de los ecosistemas.

LITERATURA CITADA

- Ato, M., J.A. López, A.P. Valandrino y J. Sánchez, 1990. "Análisis factorial". En: *Estadística avanzada en el paquete SYSTAT*. Cap. 5, Universidad de Murcia, España, 157-187 pp.
- Barreto, A., P. Herrera, E. Del Risco y N. Enríquez, 2005. "Listas florísticas de la Reserva Natural de Maraguán, provincia Camagüey". *Acta Bot. Cub.*, **190**: 1-10.
- Berazaín, R., R. Rankin, I. Arias y J. Gutiérrez, 1985. "Notas sobre la vegetación de serpentina en Camagüey". *Revista Jard. Bot. Nac. Univ. Habana*, **6**(2): 63-78.
- Borhidi, A., 1988. "El efecto de la roca serpentina a la flora y vegetación de Cuba". *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.*, **34**(1-2): 123-174.
- Cliff, N., 1987. *Analyzing multivariate data*. 235 pp.
- DIRECCION PROVINCIAL DE SUELOS, 1986. *Mapa genético de suelos*, **1**:25 000, hoja Guanabaquilla 4680-III-d, Camagüey, Cuba.
- Enríquez, N., J.M. Plasencia, Z. Acosta, E. Martínez y D. Godínez, 2006a. "Modificación ecólogo paisajística de la llanura ofiolítica (serpentinás) de la Reserva Natural de Maraguán en Camagüey, Cuba". Informe de proyecto, CIMAC.
- , 2006b. "Humedecimiento del paisaje de la llanura ofiolítica (serpentinás) de la Reserva Natural de maraguanán en Camagüey, Cuba". Informe de proyecto, CIMAC.
- Kaiser, H.F., 1958. "The VARIMAX criterion for analytic rotation in factor analysis". *Psychometrika*, **23**: 187-200.

- Linares, G., 1990. *Análisis de los datos*. Ed. Universidad de la Habana, Facultad de Matemática y Cibernética, 589 pp.
- Martínez Quezada, Eddy. Investigador Auxiliar. Centro de Investigaciones de medio Ambiente de Camagüey Ministerio de Ciencia, Tecnología y medio Ambiente de Cuba. Comunicación personal.
- Plasencia, J.M., 2006. Estudio preliminar de la ocurrencia de caracteres adaptativos a la sequía de la vegetación en la Reserva Ecológica de Maragúan, Camagüey, Cuba. En: *X Encuentro Johannes Bisse in Memoriam, Camagüey, Cuba*.
- Ricardo, N., E. Pouyú, y P. Herrera, 1995. "A classification of the synanthropic categories in the flora of Cuba". *Fontqueria*, **42**: 368-430.
- Tabachnick, B.G. y L.S. Fidell, 1989. *Using multivariate statistics*. 2da. edición, New York, 321 pp.
- Wilkinson, L., 1992. SYSTAT. The system for statistics. Version 5,01 for Windows. Evanston Il. SYSTAT Inc.

Recibido: 14 junio 2007. Aceptado: 9 enero 2008.