EDAFOLOGÍA, Vol 12. (2), pp 139-151, 2005

VARIACIONES DE LA CALIDAD DEL SUELO ASOCIADAS A LA DEGRADACIÓN DE LA VEGETACIÓN EN AREAS DESERTIFICADAS (FUERTEVENTURA, ISLAS CANARIAS)

J. L. MORA, C. D. ARBELO, A. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J. BORDÓN

Dpto. Edafología y Geología, Facultad de Biología,Universidad de La Laguna, Avda. Astrofísico Francisco Sánchez s/n, 38204, La Laguna, Tenerife (Islas Canarias)
antororo@ull.es

Abstract. Vegetation in the island of Fuerteventura has been profoundly transformed over the last few hundred years, and the greater part of the insular territory is presently covered by substitution brush. In this paper a study of soil degradation processes relating to plant cover transformation is presented. To this end, soils that characterize the present-day countryside of the island and those associated with enclaves of original vegetation are studied, and the sequential variation of soil properties along the plant succession is established by means of multivariant analysis of environmental gradients. The results indicate that the original vegetation was established on soils with a low natural quality, severely limited by natural aridity, salinity and sodicity as well as the water and wind erosion processes dominant in the island. These same ecological factors condition the quality of the island's present soils, although the degradation of the plant cover has increased the severity of several soil degradation processes, particularly those of a physical and biological nature.

Key words: Multivariant analysis, Soil quality, Canary Islands, Plant succession, Soil degradation, Desertification

Resumen. El paisaje vegetal de la isla de Fuerteventura se ha visto profundamente transformado en los últimos siglos, y en la actualidad la mayor parte del territorio insular está ocupado por matorrales de sustitución. En este trabajo se estudian los procesos de degradación del suelo ligados a la transformación de la cubierta vegetal. Con este fin, se analizan los suelos que caracterizan el paisaje actual de la isla y aquellos asociados a los reductos de vegetación original, y se establece la variación secuencial de las propiedades del suelo a lo largo de la sucesión vegetal mediante técnicas de análisis multivariante de gradientes ambientales. Los resultados indican que la vegetación original se establecía sobre suelos con una calidad natural reducida, severamente limitados por la aridez, la salinidad y sodicidad naturales y los procesos de erosión hídrica y eólica dominantes en la isla. Estos mismos factores ecológicos condicionan en la actualidad la calidad de los suelos, si bien la degradación de la cubierta vegetal original ha aumentado la severidad de algunos procesos de degradación del suelo, en particular los de degradación física y biológica.

Palabras clave: Análisis multivariante, Calidad del suelo, Islas Canarias, Sucesión vegetal, Degradación del suelo, Desertificación

INTRODUCCIÓN

Los suelos que sustentan los ecosistemas maduros se encuentran en un equilibrio sostenido y estable con las condiciones ambientales. Por ello se les atribuye una elevada calidad ambiental, e incluso se los utiliza como referente para evaluar la calidad de los suelos en un determinado entorno ecológico (Doran y Jones, 1996; Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002a).

Los procesos que conducen a los ecosistemas hacia su madurez dan lugar a suelos activos y en equilibrio, con un mínimo de energía libre y un alto grado de autoorganización (Margalef, 1974). La degradación de un ecosistema suele producir una disminución de la calidad del suelo al tiempo que una regresión en la sucesión ecológica (Arbelo *et al.*, 2002; Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002a,b).

Las Islas Canarias orientales, en particular la isla de Fuerteventura, están sometidas a un proceso claro de desertización, favorecido por la proximidad al desierto del Sahara, la extrema aridez y los períodos persistentes de sequía, un relieve llano abierto a la incidencia de los vientos dominantes del Nordeste, las frecuentes invasiones de aire sahariano y la torrencialidad de las precipitaciones (Rodríguez Rodríguez, 2001).

En las condiciones climáticas actuales, los procesos de alteración del material geológico, acumulación de materia orgánica y migración de materiales en el suelo están muy limitados, lo que favorece que los procesos de degradación del suelo predominen sobre los de formación (Torres Cabrera, 1995).

A ello se ha unido en los últimos siglos una intensa degradación del territorio ligada a las actividades humanas (desertificación). La conquista europea de Fuerteventura tuvo lugar a comienzos del siglo XV, época en la cual la mayor parte de la isla estaba cubierta por un matorral xerofítico suculento conocido localmente como "Tabaibal" (Webb y Berthelot, 1835-1850; Pitard y Proust, 1908; Abreu Galindo, 1955; Hernández Rubio, 1983; Serra Ráfols, 1986; Cabrera, 1996; Santos, 1998, 2000; Rodríguez Delgado *et al.*, 2000, 2004).

La explotación de la vegetación como combustible y un intenso sobrepastoreo han producido un fuerte deterioro de la vegetación, reduciendo su biomasa, cobertura y diversidad (González Antón, 1998; Cabrera, 2001). En la actualidad, gran parte del territorio insular está colonizado por matorrales de sustitución de escasa cobertura, mientras que la vegetación arbustiva original se ha visto relegada a pequeños relictos en laderas escarpadas o sobre coladas volcánicas poco favorables para el uso humano o inaccesibles tanto para el hombre como para sus ganados (González Henríquez *et al.*, 1986; Rodríguez Delgado *et al.*, 2000; Santos, 2000).

El objetivo de este estudio es evaluar el efecto que ha tenido la transformación del paisaje vegetal dominado por el tabaibal, sobre la calidad actual de los suelos en un entorno, el de Fuerteventura, donde la calidad del suelo se ve limitada por los condicionantes geográficos naturales.

ÁREA DE ESTUDIO

La isla de Fuerteventura está situada en el Archipiélago Canario entre 28º 45´ 04´´ y los 28º 02´ 16´´ de latitud norte, y 13º 49´ 12´´ y 14º 30´ 24´´ de longitud oeste. Es la segunda isla en extensión del archipiélago (1655 km^2) y es la más cercana al continente africano (115 km en el punto de mayor proximidad). Presenta una orografía relativamente llana, siendo su cota altitudinal máxima el Pico de Jandía con 807 m. Las precipitaciones no alcanzan los 200mm anuales (169 mm±100) y se concentran en los meses de noviembre a febrero. La evapotranspiración potencial supera los 900 mm/año (918 mm/año por el método de Thornthwaite y 1800 mm/año por medida directa en tanque evaporimétrico) y la temperatura media oscila en torno a 20ºC 19,6ºC±0,8). El edafoclima dominante es Arídico y Térmico.

Los suelos predominantes son sobre todo Aridisoles: Petrocalcids, Haplocalcids, Petroargids y Haplocambids (Torres Cabrera, 1995).

El bioclima dominante en la isla es infratermomediterráneo desértico árido-hiperárido, y la vegetación potencial es el Tabaibal, un matorral de aspecto suculento dominado por especies del género Euphorbia, como *E. balsamifera Aiton, E. regis-jubae Webb & Berth., E. handiensis Burchard y E. canariensis L.* El Tabaibal ocupa en la actualidad una superficie muy reducida, limitándose a enclaves aislados en coladas volcánicas, barrancos o laderas abruptas de poca accesibilidad.

La vegetación actual de la isla está dominada por matorrales y herbazales dispersos, enriquecidos en especies vegetales despreciadas por el ganado. Son característicos los terófitos de corta vida (*Stipa capensis Thunb, Messembryanthemum nodiflorum L. y Aizoon canariense L.*, entre otros), xerófitos espinosos como *Launaea arborescens (Batt.) Murb.* y *Lycium intricatum Boiss, y quenopodiáceas halófilas* arbustivas pertenecientes a los géneros *Salsola, Suaeda y Chenoleoides* (Rodríguez Delgado *et al.*, 2000).

MATERIAL Y MÉTODOS

Con el objeto de caracterizar la vegetación original y los suelos asociados a la misma, se localizaron los restos de vegetación de Tabaibal que aún subsisten en Fuerteventura, y se seleccionaron un total de 10 parcelas (20 m x 20 m) para este estudio. Para caracterizar los suelos y la flora dominantes en la actualidad en la isla, se realizó un muestreo sistemático en cuadrículas de 5 x 5 km, descartándose los puntos situados sobre sustratos de arenas eólicas, hasta completar un total de 69 parcelas (Figura 1).

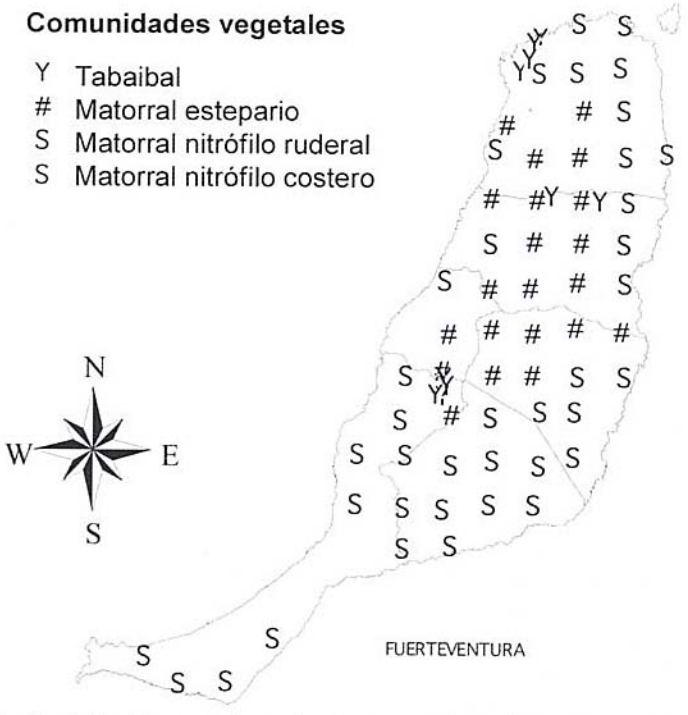

FIGURA 1. Localización de los 69 puntos de muestreo, separando las comunidades vegetales de acuerdo con los resultados del análisis TWINSPAN

En cada parcela se recogió una muestra de suelo resultante de la mezcla de 3 submuestras de los primeros 25-30 cm de suelo. Esta profundidad fue seleccionada por albergar un mayor desarrollo de raíces vegetales y por ser la capa del suelo más sensible a los procesos de degradación.

Para cada parcela se describieron las características generales del suelo y del terreno según el Manual de Reconocimiento de Suelos (Soil Survey Division Staff, 1993) y se realizó un inventario de la vegetación mediante el método de intersección sobre línea. Este método evalúa la cobertura relativa de cada especie a partir de la proyección de la copa de los individuos sobre líneas situadas a intervalos regulares sobre el terreno (Fernández-Palacios y de los Santos, 1996). La nomenclatura de las especies vegetales sigue a Acebes Ginovés *et al.* (2001).

En el laboratorio se analizaron propiedades físico-químicas relacionadas con los procesos de degradación del suelo: densidad aparente, composición granulométrica, estabilidad estructural, reacción del suelo, conductividad eléctrica, cationes y aniones solubles, cationes de cambio, caliza activa, fósforo y micronutrientes asimilables, materia orgánica y nitrógeno total. Los métodos analíticos empleados se indican en la Tabla 1.

TABLA 1. Métodos de análisis y descripción utilizados

Análisis	Metodología
Carbono oxidable	Walkley y Black, 1934
Niitrógeno total	Método Kjeldahl
Caliza activa	Calcímetro de Bernard (MAPA, 1974)
Reacción del suelo (pH)	Suspension suelo:agua 1:2.5
Iones solubles y solución del suelo	Extracto suelo:agua 1:1
	Fotometría de emisión (Na^+, K^+)
	Espectrometría de Absorción Atómica (Ca^{2+}, Mg^{2+})
	Potenciometría con HCl (HCO_3^-)
	Potenciometría con $AgNO_3$ (Cl^-)
	Bower y Wilcox, 1965 (SO_4^{2-})
Cationes cambiables	Bower et al., 1952
	Fotometría de Emisión (Na^+, K^+)
	Fotometría de Absorción Atómica (Ca^{2+}, Mg^{2+})
P asimilable	Olsen et al., 1954
Fe, Cu, Mn y Zn asimilables	Extracción con DTPA (Lindsay y Norwell, 1978)
B asimilable	Método del agua caliente (Gupta, 1979)
Contenido de humedad	Método gravimétrico
Retención de agua	Richards, 1980
	Muestras no modificadas, cilindros de volúmen conocido (240
Densidad aparente	ml)
Granulometría	Dispersión con hexametafosfato sódico, método del densímetro,
	tamizado para la fracción arena
Estabilidad de agregados	Bartoli et al., 1991
Afloramientos rocosos,	
profundidad del suelo, tamaño de	
agregados, dureza, porosidad,	
tamaño de poros, abundancia y	
tamaño de raíces	Soil Survey Division Staff, 1993

Los datos de cobertura vegetal fueron analizados mediante una clasificación jerárquica divisiva -Análisis de Dos Vías de Especies Indicadoras, TWINSPAN- (Hill, 1979) que delimitó grupos de parcelas afines caracterizados por la presencia de determinadas especies vegetales indicadoras.

Mediante un Análisis de Correspondencias Corregido -DCA- (Hill y Gauch, 1980) se obtuvo una ordenación gráfica de las parcelas de acuerdo a su composición florística, lo que permitió estudiar la relación entre la vegetación y los tipos de suelo, y la relación entre los grupos de parcelas definidos por TWINSPAN.

Con el fin de estudiar la relación entre la vegetación y las variables edáficas se utilizó un Análisis de Correspondencias Canónicas -CCA- (Ter Braak, 1986). Se seleccionaron las variables más adecuadas para este análisis mediante un Test de Montecarlo ($p \leq 0.05$, 5000 iteraciones). El mismo test fue empleado para determinar la significación de los ejes canónicos obtenidos.

También se compararon los valores de todas las propiedades estudiadas en los grupos de parcelas definidos, mediante los tests de Kruskal-Wallis y U de Mann-Whiney.

Los análisis estadísticos se llevaron a cabo usando los programas SPSS (Anónimo, 1990) y CANOCO (Ter Braak y Šmilauer, 1998).

RESULTADOS

En los inventarios florísticos se identificaron un total de 46 especies vegetales. Dominan los terófitos (50% de las especies), seguido de caméfitos (24%), nanofanerófitos (20%) y otras formas (hemicriptófitos y geófitos). La clasificación de las parcelas mediante TWINSPAN (Figura 2) discrimina en primer lugar las parcelas con vegetación de Tabaibal, y a continuación delimita un matorral estepario y un matorral con especies halófilas de carácter costero o ruderal.

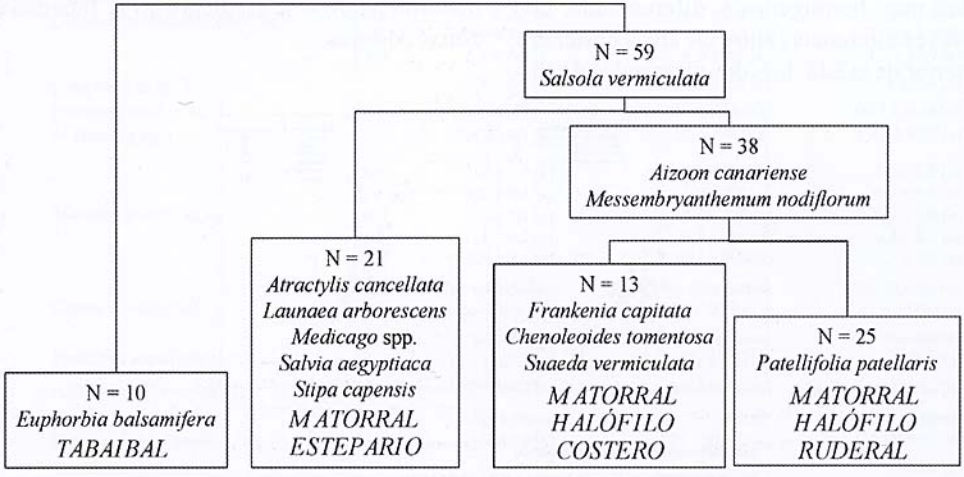

FIGURA 2. Análisis de la vegetación mediante TWINSPAN

La distribución territorial de estas formaciones vegetales (Figura 1) sitúa al matorral estepario en zonas del interior y a sotavento en la isla de Fuerteventura, mientras que los matorrales halófilos se sitúan en áreas costeras y expuestas a los vientos predominantes del nordeste. La vegetación original de Tabaibal se sitúa tanto en localizaciones costeras como en el interior de la isla.

La estructura de las tres comunidades ve-

getales difiere en la abundancia de los distintos biotipos (Tabla 2). El Tabaibal posee una mayor cobertura de arbustos perennes frente a herbáceas anuales que la vegetación de sustitución, lo que puede facilitar una protección más efectiva de la superficie del suelo.

TABLA 2. Diferentes biotipos de las comunidades vegetales (%; media y desviación estándar)

	Tabaibal	Matorral estepario	Matorral halófilo
Nanofanerófitos	27.4 ± 13.1 [a]	5.6 ± 6.7 [b]	6.2 ± 4.0 [b]
Caméfitos	2.4 ± 3.7 [a]	7.4 ± 5.5 [b]	0.8 ± 1.8 [a]
Hemicriptófitos	0.0 ± 0.0 [ab]	0.2 ± 0.5 [a]	0.0 ± 0.0 [b]
Geófitos	0.0 ± 0.1 [a]	0.1 ± 0.2 [a]	0.0 ± 0.1 [a]
Terófitos	0.5 ± 1.3 [b]	8.4 ± 14.8 [b]	4.5 ± 6.2 [b]
Cobertura total	30.3 ± 15.6 [a]	21.6 ± 15.9 [a]	11.5 ± 6.3 [b]

Los valores seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas

(Tests de Kruskal-Wallis y Mann-Whitney, $p \leq 0.05$)

La ordenación mediante DCA (Figura 3) revela la secuencia sucesional de las comunidades vegetales.

Las parcelas de Tabaibal componen una unidad muy homogénea y diferenciada, con sólo leves diferencias entre las áreas costeras y el interior de la isla. Los dos matorrales de sustitución se distancian claramente del Tabaibal, si bien el matorral estepario presenta una composición florística más próxima a la de las parcelas de Tabaibal del interior de la isla, y el matorral halófilo se asemeja más al Tabaibal de zonas costeras.

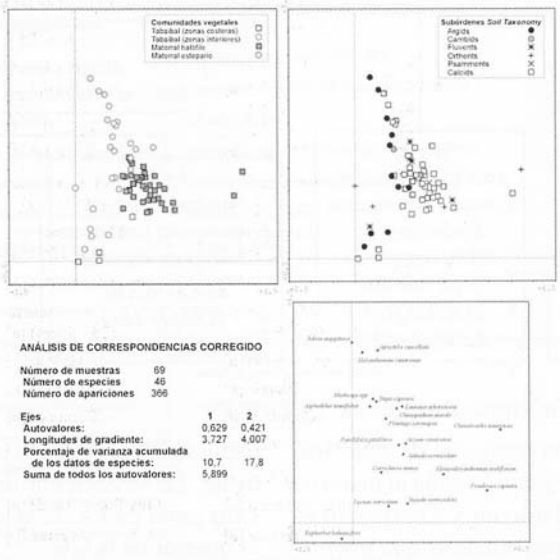

FIGURA 3. Análisis de de la vegetación mediante un Análisis de Correspondencias Corregido (DCA)

En cuanto al tipo de suelo, los suelos de las parcelas estudiadas son Aridisoles y Entisoles, dominando los Calcids (65% de las parcelas) y Argids (19%), seguidos por Fluvents (7%) y Orthents (6%).

Tal y como muestra el DCA (Figura 3), el Tabaibal se desarrolla frecuentemente sobre Argids en zonas del interior y sobre Calcids en zonas costeras. Los correspondientes matorrales de sustitución muestran un comportamiento análogo: el matorral estepario se sitúa a menudo en Argids, mientras que el matorral halófilo ocupa sobre todo Calcids.

En general, los suelos estudiados son pobres en materia orgánica, de textura franco-arcillosa, ligeramente alcalinos, con un alto grado

TABLA 3. Propiedades del suelo (media y desviación estándar)

		Tabaibal	Matorral estepario	Matorral halófilo
Granulometría (g kg^{-1})	Arcilla	303 ± 121 [ab]	348 ± 93 [a]	250 ± 67 [b]
	Limo	446 ± 157 [a]	372 ± 93 [a]	352 ± 123 [a]
	Arena	251 ± 126 [a]	280 ± 133 [a]	393 ± 145 [b]
Estabilidad de agregados (%)		17,5 ± 6,3 [a]	14,5 ± 6,8 [a]	12,7 ± 6,2 [a]
Densidad aparente (g cm^{-3})		1,1 ± 0,2 [a]	1,2 ± 0,2 [a]	1,2 ± 0,2 [a]
pH		8,6 ± 0,2 [a]	8,8 ± 0,3 [a]	8,8 ± 0,5 [a]
C.E. (1:1 relación suelo:agua, dS m^{-1})		6,0 ± 7,5 [a]	2,6 ± 7,2 [b]	10,0 ± 11,0 [a]
Iones solubles (cmol$_c$kg^{-1})	Ca^{2+}	0,9 ± 1,0 [a]	0,7 ± 1,7 [a]	1,4 ± 1,8 [a]
	Mg^{2+}	0,7 ± 0,7 [a]	0,4 ± 1,1 [b]	0,9 ± 1,1 [a]
	K^{+}	0,2 ± 0,2 [ab]	0,1 ± 0,1 [a]	0,7 ± 2,4 [b]
	Na^{+}	3,7 ± 5,1 [a]	1,6 ± 5,3 [b]	5,8 ± 8,0 [a]
	SO_4^{2-}	0,5 ± 0,8 [ab]	0,2 ± 0,3 [a]	1,1 ± 1,8 [b]
	Cl^{-}	4,7 ± 6,9 [a]	2,6 ± 8,9 [b]	10,9 ± 15,5 [a]
	HCO_3^{-}	0,3 ± 0,3 [a]	0,4 ± 0,3 [a]	0,4 ± 0,3 [a]
Caliza activa (g kg^{-1})		63 ± 60 [a]	103 ± 100 [ab]	163 ± 137 [b]
Cationes cambiables (cmol$_c$kg^{-1})	Ca^{2+}	19,5 ± 3,3 [ab]	22,7 ± 7,3 [a]	16,5 ± 4,1 [b]
	Mg^{2+}	5,7 ± 2,2 [a]	4,7 ± 2,0 [a]	4,4 ± 1,8 [a]
	K^{+}	3,0 ± 1,5 [a]	2,9 ± 1,2 [a]	3,2 ± 2,7 [a]
	Na^{+}	6,9 ± 5,3 [a]	6,5 ± 9,7 [a]	9,0 ± 10,9 [a]
C orgánico (g kg^{-1})		10,3 ± 5,3 [a]	6,2 ± 2,5 [b]	5,5 ± 2,9 [b]
Nitrógeno total (g kg^{-1})		1,24 ± 0,47 [a]	0,77 ± 0,24 [ab]	0,63 ± 0,28 [b]
P- Olsen (g kg^{-1})		23,8 ± 16,1 [a]	15,1 ± 9,1 [a]	19,8 ± 10,0 [a]
Micronutrientes (g kg^{-1})	Fe	4,7 ± 1,9 [a]	3,6 ± 1,7 [a]	2,7 ± 1,8 [b]
	Cu	1,2 ± 0,4 [a]	1,0 ± 0,5 [a]	0,7 ± 0,4 [b]
	Mn	5,0 ± 1,2 [a]	4,4 ± 1,5 [a]	2,6 ± 1,6 [b]
	Zn	0,3 ± 0,2 [a]	0,3 ± 0,1 [a]	0,3 ± 0,3 [a]
	B	3,5 ± 2,7 [a]	2,1 ± 1,8 [a]	4,2 ± 5,3 [a]
Gravas en superficie		Muy abundantes (15 - 90%) [a]	Muy abundantes (15 - 90%) [a]	Muy abundantes (15 - 90%) [a]
Piedras en superficie		Muy abundantes (15 - 90%) [a]	Muy abundantes (15 - 90%) [a]	Muy abundantes (15 - 90%) [a]
Afloramientos rocosos		Comunes (2 - 10%) [a]	Muy pocos (<2%) [b]	Muy pocos (<2%) [b]
Profundidad del suelo		Muy somero (0 - 25cm) [a]	Somero (25 - 50cm) [a]	Somero (25 - 50cm) [a]
Tamaño de agregados		Grueso [a]	Grueso [a]	Medio [a]
Consistencia		Blanda [a]	Blanda [a]	Blanda [a]
Poros		Comunes [a]	Comunes [a]	Pocos [b]
Tamaño de poros		Muy finos (<1mm) [a]	Muy finos (<1mm) [a]	Finos (1 - 2mm) [a]
Abundancia de raíces		Pocas [a]	Pocas [a]	Muy pocas [ab]
Tamaño de raíces		Finas (1 - 2mm) [a]	Muy finas(<1mm) [a]	Muy finas(<1mm) [a]
Macrofauna edáfica		Presente [a]	Ausente [a]	Ausente [a]

Los valores seguidos de la misma letra no presentan diferencias significativas (Tests de Kruskal - Wallis y Mann - Whitney, p =0.05)

El CCA (Figura 4) muestra la relación entre la vegetación y las variables edáficas de mayor significación (Test de Montecarlo, $p \leq 0.05$).

El primer eje de ordenación obtenido presenta una elevada significación (F-ratio=6.22, p=0.0002), y parece representar las variaciones experimentadas en el proceso de sucesión, con las parcelas de Tabaibal en torno al semieje positivo y las parcelas con vegetación de sustitución en el semieje negativo.

Este eje muestra elevadas correlaciones positivas con el nitrógeno total, el carbono oxidable, la estabilidad de los agregados y la abundancia de raíces, y negativas con el contenido de arena y el pH. De este modo, el Tabaibal aparece ligado a suelos saludables, de mayor dinamismo y calidad ambiental, mientras que la sucesión regresiva se asocia a procesos erosivos y de degradación química y biológica.

Sin embargo, la profundidad del suelo y la presencia de afloramientos del material de origen presentan sus valores más desfavorables en los suelos del Tabaibal. Este hecho debe atribuirse a que el Tabaibal subsiste en la actualidad en terrenos desechados para otros usos por su elevada pendiente o pedregosidad y cuyos suelos suelen ser poco profundos y con abundantes afloramientos rocosos.

Número de muestras			
Número de especies			
Número de apariciones			
Ejes			**1**
Autovalore	,390	,310	
Correlaciones			
		:	,868
Porcentaje de varianza de los datos de de la relación		:	10,3
		:	32,6
Correlaciones ejes-variables			
Arenas-		,305	,245
Estabilidad agregados			,306 -
pH:		-,376	-,226
Conductividad eléctrica			,013
Na soluble		,060	,473
Carbonato cálcico		-,304	,359
Ca cambiable		-,024	-,701
C oxidable		,567	-,077
Nitrógenodtal		,692	-,194
Mn biodisponible		,244	,690
B biodisponible		,138	,473
Afloramientos rocosos			,805
Profundidad útil		-,351	-,363
Abundancia de raíces			,497 -
Suma de todos los			

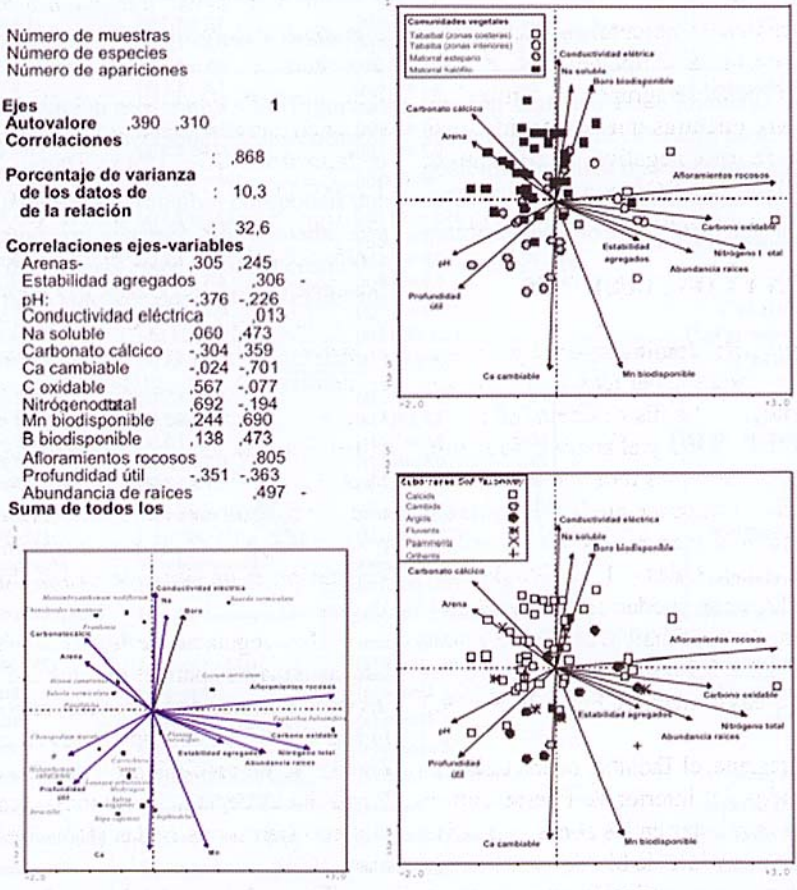

FIGURA 4. Análisis Canónico de Correspondencias de la vegetación y de las propiedades de los suelos

Por su parte el segundo eje discrimina las parcelas de acuerdo a su entorno geográfico.

Las parcelas de Tabaibal situadas en zonas costeras y sobre todo las parcelas de matorral halófilo se asocian al semieje positivo, el cual se correlaciona con variables ligadas a la salinidad, como la conductividad eléctrica, el contenido de sodio soluble y el de boro biodisponible, o a procesos de carbonatación favorecidos por el aporte de carbonatos de las arenas organógenas marinas.

El matorral estepario y las parcelas de Tabaibal situadas en el interior de la isla se sitúan próximos al semieje negativo, correlacionado con el contenido de manganeso biodisponible y con un enriquecimiento relativo de calcio en el complejo de cambio.

Este gradiente ambiental también se hace evidente al considerar el tipo del suelo de cada parcela: los Calcids se agrupan en torno al semieje positivo, mientras que los Argids se sitúan junto al semieje negativo. El conjunto de los ejes canónicos del CCA es estadísticamente muy significativo (F-ratio = 1.79, p = 0.0002).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La vegetación dominante en el pasado en Fuerteventura parece haber tenido una elevada valencia ecológica. La distribución inicial del tabaibal por toda la isla y el análisis de la salinidad de los suelos en los reductos actuales de esta comunidad, muestran que la misma se encontraba inicialmente en suelos con una salinidad variable (desde CEes = 1,3 a 490 dS/m) y que estos reductos se pueden agrupar espacialmente en parcelas de Tabaibal del interior de la isla (CEes = 4,4 ± 3,9 dS/m) y parcelas de Tabaibal de las áreas costeras (CEes = 26,5 ± 19,3 dS/m).

En el presente, el Tabaibal ocupa tanto lugares protegidos del interior de Fuerteventura como laderas expuestas en las zonas más bajas y llanas. Esta diversidad de biotopos se traduce en un amplio rango de variación en las propiedades de los suelos asociados (particularmente en aquellas relacionadas con su estado salino-sódico) y en la tipología de los mismos (Calcids, Argids, Orthents).

Una intensa y continuada alteración antrópica ha producido la sustitución del Tabaibal por un matorral cuya composición florística sí está muy influenciada por las propiedades del suelo. En las zonas más bajas con influencia marina, con predominio de Calcids, la alta salinidad ha favorecido el establecimiento de plantas halófilas. En las zonas altas y protegidas de la maresía en el interior de la isla, donde son frecuentes los Argids, la sucesión ha dado lugar a una vegetación de gramíneas y pequeños arbustos de menor tolerancia a la salinidad.

Aunque existe una extensa bibliografía que trata de la distribución de las manchas de vegetación en zonas desérticas y áridas, en relación con las propiedades edáficas, que condicionan una desigual distribución del régimen de humedad edáfico (Yair y Danin, 1980; Yair, 1983; Kadmon *et al.*, 1989; Casenave y Valentin, 1992; Hairsine *et al.*, 1992; Holzapfel *et al.*, 1995; Schreiber *et al.*, 1995; Puigdefábregas y Sánchez, 1996; Bergkamp, 1998; Puigdefábregas *et al.*, 1999, etc.), en nuestro caso no encontramos diferencias significativas ni en el contenido de humedad de los suelos de las diferentes comunidades vegetales, ni en la capacidad de retención de agua de los mismos, por lo que no es de esperar un régimen de humedad edáfico diferente, no observándose tampoco evidencias de un mayor crecimiento de la vegetación en un sitio que en otro, luego de las lluvias.

Una vegetación efímera de plantas herbáceas anuales aparece durante 2-3 meses en invierno después de las lluvias, cubriendo toda la isla sin diferencias aparentes en cuanto a la intensidad de crecimiento entre las diferentes formaciones vegetales perennes, como es habitual en otras zonas áridas (Noy-Meir y Seligman, 1979).

La sustitución del Tabaibal ha dado lugar

a una vegetación más dispersa, más rica en plantas anuales y con menor desarrollo radicular, que ofrece poca protección y un aporte escaso de materia orgánica al suelo. Como resultado, la sucesión regresiva parece haber producido un incremento en la severidad de algunos procesos de degradación del suelo.

De este modo, la sustitución de la vegetación original se asocia en Fuerteventura a una esqueletización, evidente en el enriquecimiento relativo en arenas, y que es producto de la erosión. La incidencia de los procesos erosivos, en especial de la erosión eólica, parece ser mayor sobre el matorral halófilo, de muy escasa cobertura y situado en las zonas más bajas y expuestas. La regresión en la vegetación se asocia también a un deterioro de la salud biológica del suelo, con reducción de los contenidos de materia orgánica y nitrógeno.

También se detecta, coincidiendo con la degradación de la cubierta vegetal, una cierta tendencia a una mayor alcalinización de los suelos, aunque éstos ya tenían carácter alcalino. Un fenómeno similar ha sido descrito en otras zonas de las Islas Canarias (Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002a), asociado también a una sucesión vegetal regresiva.

Las condiciones naturales de la isla determinadas por la aridez, hacen que los suelos presenten en general una baja calidad (Torres Cabrera, 1995). Sin embargo estas condiciones no parecen constituir un impedimento importante para el desarrollo del Tabaibal, cuya distribución actual en Fuerteventura se debe a razones históricas y de uso del terreno, y no a sus exigencias edáficas.

Aunque la degradación de la vegetación original se ha acompañado de cambios en las propiedades físico-químicas de los suelos, la calidad adquirida de los suelos de Fuerteventura está próxima a su calidad natural, fuertemente limitada en el pasado reciente y en la actualidad por la aridez, la salinidad y sodicidad y los procesos erosivos naturales.

En estudios anteriores en áreas frágiles y con baja resiliencia ante las transformaciones humanas que provocan importantes impactos ambientales (Arbelo *et al.*, 2002, Rodríguez Rodríguez *et al.*, 2002a,b), se ha establecido que la degradación del ecosistema supone siempre una regresión en la sucesión ecológica acompañada por procesos de degradación del suelo que disminuyen la calidad de los mismos. A su vez en estas áreas, la regeneración natural o inducida del ecosistema, que supone una progresión en la sucesión ecológica, implica siempre una modificación de las propiedades edáficas en el sentido de mejorar la calidad del suelo.

Sin embargo como se ha puesto de manifiesto en este trabajo, en zonas áridas dotadas de una mayor resiliencia y donde, en condiciones originales ya la vegetación se establece sobre suelos de baja calidad, salino-sódicos y afectados por procesos de erosión eólica, las relaciones entre la degradación de la cubierta vegetal y la degradación de los suelos no son tan claras, de manera que la regresión en la sucesión vegetal sólo supone algunos cambios en las propiedades de los suelos, como consecuencia de la intensificación de algunos procesos de degradación física (erosión) y biológica, sin que aparentemente se produzca una pérdida de calidad de unos suelos que ya inicialmente presentan una baja calidad.

La rehabilitación de estos ecosistemas debe tender a favorecer la sucesión ecológica natural, lo cual frenará la incidencia de los procesos de degradación física y biológica del suelo, pero sin tener una influencia determinante sobre la mejora de su calidad química.

REFERENCIAS

Abreu Galindo, J. (1955). Historia de la Conquista de las siete islas Canarias. Edición crítica con introducción, notas e índice por Alejandro Cioranescu. S/C de Tenerife.

Acebes, J. R., Del Arco, M., García Gallo, A.,

León, M.C., Pérez de Paz, P.L., Rodríguez Delgado, O. Wildpret, W. (2001). Pteridophyta, Spermatophyta, pp.98-140. En Izquierdo, I., J. L. Martín, N. Zurita and M. Arechavaleta, eds., Lista de especies silvestres de Canarias (hongos, plantas y animales terrestres). *Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente, Gobierno de Canarias,* Santa Cruz de Tenerife, Spain.

Anónimo. (1990). SPSS/PC+ V.6.0. Base manual. *SPSS Inc.*, Chicago, Illinois, USA.

Arbelo, C.D., Rodríguez Rodríguez, A., Guerra, J.A, Mora, J.L. (2002). Soil quality and plant succession in forest andosols, pp.452-458. En Lianxiang W., W. Deyi, T. Xiaoning and N. Jing, eds., *Proceedings of 12th ISCO Conference. Sustainable Utilization of Global Soil and Water Resources.* Vol. III. *Tsinghua University Press,* Beijing, China.

Bartoli, F., Burtin, G, Herbillon, A.J. (1991). Disaggregation and clay dispersion of Oxisols: Na resin, a recomended methodology. *Geoderma* 49:301-317.

Bergkamp, G. (1998). A hierarchical view of the interactions of runoff and infiltration with vegetation and microtopography in semiarid shrublands. *Catena* 33: 201-220.

Bower, C.A, Reitemeier, F.F, Fireman, M. (1952). Exchangeable cation analysis of alkaline and saline soils. *Journal of Soil Science* 73:251-261.

Bower, C.A, Wilcox, L.V. (1965). Soluble salts, pp. 933-951. En C.A. Black, D.D. Evans, J.E. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark, eds., Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Agronomy Monograph N° 9, *American Society of Agronomy,* Madison, Wisconsin, U.S.A.

Cabrera, J.C. (1996). La prehistoria de Fuerteventura. Un modelo insular de adaptación. Cabildo Insular de Fuerteventura. Madrid.

Cabrera, J.C. (2001). Poblamiento e impacto aborígen. En: Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación (J.M. Fernández-Palacios y J.L. Martín Eds.), 241-245. *Turquesa Ediciones.* S/C de Tenerife.

Casanave, A, Valentin, C. (1992). A runoff capability classification system based on surface features criteria in semiarid areas of West Africa. *J. Hydrology,* 130:231-249.

Doran, J.W, Jones, A.J. (1996). Methods for assessing soil quality. SSSA Special Publication n° 49, *Soil Sci. Soc. Am. Inc.* Madison, WI, USA

Fernández-Palacios, J.M. and De los Santos, A. (1996). Ecología de las Islas Canarias. Muestreo y análisis de poblaciones y comunidades. Sociedad La Cosmológica. Santa Cruz de La Palma, Spain.

González Antón, R. (1998). El poblamiento de un Archipiélago Atlántico: Canarias en el proceso colonizador del primer milenio a. C. *Eres (Arqueología)* 8:43-100.

González Henríquez, M.N., Rodrigo, J.D, Suárez, C. (1986). Flora y Vegetación del Archipiélago Canario. *Edirca S.L.* Las Palmas de Gran Canaria.

Gupta, U.C. 1979. Some factor affecting the determination of hot-water-soluble boron from Podszol soil using azomethine-H. *Canadian Journal of Soil Science* 59:241-247.

Hairsine, P.B., Moran, C.J, Rose, C.W. (1992). Recent developments regarding the influence of soil surface characteristics on overland flow and erosion. *Aust. J. Soil Res.* 30:249-264.

Hernández-Rubio, J.M. (1983). Fuerteventura en la naturaleza y la historia de Canarias. *Cabildo Insular de Fuerteventura.* Puerto del Rosario.

Hill, M.O. (1979). TWINSPAN - a FORTRAN program for arranging multivariate data

in an ordered two-way table classification of the individuals and attributes. Cornell University, Ithaca, New York, USA.

Hill M.O, Gauch, H.G. (1980). Detrend Correspondence Analysis, an improved ordenation technique. *Vegetatio* 42:47-58.

Holzapfel, C., Schmidt, W, Shmida, A. (1995). The influence of site conditions on plant species richness, plant production and population dynamics: Comparison of two desert types. In: Arid Ecosystems (H.P. Blume and S.M. Berkowicz eds.), Advances in Geoecology 28, 145-156, *Catena Verlag*, Cremlingen.

Kadmon, R., Yair, A, Danin, A. (1989). Relationship between soil properties, soil moisture and vegetation along loess covered hillslopes, northern Negev, Israel. *Catena Supplement* 14, 43-57.

Lindsay, W. L. and Norwell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test of zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal* 42:421-428.

Margalef, R. 1974. Ecología. Ediciones Omega. Barcelona, Spain.

Noy-Meir, I. and Seligman, N.G. (1979). Management of semi-arid ecosystems in Israel. En: Management of semi-arid ecosystems (B.H. Walker Ed.), Developm. En Agricultural and Managed-forest Ecology 7, 113-160, *Elsevier*, Amsterdam.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, S. and Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus on soils by extraction with sodium bicarbonate. *USDA* Cir. Nº939.

Pitard, J. et Proust, L. (1908). Les Iles Canaries. Flore de l'archipel. Paris.

Puigdefábregas, J. and Sánchez, G. (1996). Geomorphological implications of vegetation patchiness on semiarid slopes. In: Advances in Hillslope Processes (M.G. Anderson and S.M. Brooks Eds.), 2: 1027-1060.

Puigdefábregas, J., Solé, A. Gutiérrez, L. Del Barrio, G. boer, M. (1999). Scales and processes of water and sediment redistribution in drylands: results from the Rambla Honda field site in SE Spain. *Earth Science Reviews,* 48:39-70.

Richards, L.A. (1980). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. *Limusa*. Ciudad de México.

Rodríguez Delgado, O., García Gallo, A. Reyes Betancort, A. (2000). Estudio fitosociológico de la vegetación actual de Fuerteventura (Islas Canarias). *Vieraea* 28:61-98.

Rodríguez Delgado, O., García Gallo, A, Reyes Betancort, A. (2004). *In press*. La vegetación actual. En: Patrimonio Natural de la isla de Fuerteventura. Excmo. Cabildo Insular de Fuerteventura, Centro de la Cultura Popular Canaria, Santa Cruz de Tenerife, Spain.

Rodríguez Rodríguez, A. 2001. Erosión y desertificación, pp.317-321, En Fernández-Palacios, J.M. and Martín Esquivel, J.L. *eds.,* Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y Conservación. Turquesa Ediciones, Santa Cruz de Tenerife, Spain.

Rodríguez Rodríguez, A., Mora, J.l. Arbelo, C.D. (2002a). Variation of soil quality in plant succession of the coastal scrub of Tenerife (Canary Islands, Spain), pp.1185-1198, En: Rubio, J.L., Morgan, R.P.C., Asins, S. and Andreu, V. eds., Proceedings of the Third International Congress Man and Soil at the Third Millenium. *Geoforma* Ediciones, Logroño, Spain.

Rodríguez Rodríguez, A., Mora, J.L., Guerra, J.A., Arbelo, C.D. and Sánchez, J. (2002b). An ecosystemic approach to soil quality assessment, pp.194-208. En Faz, A., Ortiz, R. and Mermut,A.R. eds., Sustainable use and management of soils in arid and semiarid regions. Vol. I, *Qua-*

derna Editorial, Murcia, Spain.

Santos, A. (1988). Flora y Vegetación. En: *Geografía de Canarias. 1. Geografía Física* (Afonso, L. Ed.), 258-295. Editorial Interinsular Canaria, S/C de Tenerife.

Santos, A. (2000). La Vegetación. En: *Gran* Atlas Temático de Canarias (Morales, G. y Pérez, R. Eds.), 121-146. Editorial Interinsular Canaria, S/C de Tenerife.

Schreiber, K.F., Yair, A. Shachak, M. (1995). Ecological gradients along slopes of the northern Negev highlands, Israel. In: *Arid Ecosystems* (Blume, H.P. and Berkowicz, S.M. eds.), Advances in Geoecology 28, 209-229, *Catena*, Cremlingen.

Serra Ráfols, E. (1986). Le Canarien. Crónicas francesas de la Conquista de Canarias. Aula de Cultura del Cabildo de Tenerife, Santa Cruz de Tenerife, Spain.

Soil Survey Division Staff. (1993). Soil Survey Manual. Soil Conservation Service. *US Department of Agricultura,* Handbook 18.

Ter Braak, C.J.F. (1986). Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67: 1167-1179.

Ter Braak, C.J.F, Šmilauer, P. (1998). CANOCO Reference manual and user's guide to Canoco for Windows: Software for canonical community ordination (version 4). Microcomputer Power, Ithaca, New York, USA.

Torres Cabrera, J.M. (1995). El suelo como recurso natural: procesos de degradación y su incidencia en la desertificación de la isla de Fuerteventura. Doctor-degree thesis, unpublished. Departamento de Edafología y Geología, Universidad de La Laguna, La Laguna, Spain.

Walkley, A Black, A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37:29-38.

Webb, P.B, Berthelot, S. (1835-1850). Histoire naturelle des îles Canaries. III. Botanique. 2. Phytographia canariensis. Paris.

Yair, A. (1983). Hillslope hydrology systems in the northern Negev desert. *J. of Arid Environments*, 6: 283-301.

Yair, A. Danin, A. (1980). Spatial variations in vegetation as related to the soil moisture regime over and arid limestone hillside, northern Negev, Israel. *Oecologia* 47: 83-88.