

HETEROGENEIDAD DEL MEDIO FÍSICO Y BIODIVERSIDAD DEL BOSQUE DE 'QUERCUS' EN EL PARQUE NATURAL LOS ALCORNOCALES

Laura Noejovich / Teodoro Marañón

Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, CSIC

Resumen

En el presente trabajo se caracteriza el medio físico (variables fisico-químicas y humedad del suelo) en tres parcelas experimentales de bosque de alcornoque (*Quercus suber*) y quejigo (*Quercus canariensis*), en laderas umbrías sobre arenisca, en el Parque Natural Los Alcornocales. Se analiza la heterogeneidad del medio físico mediante el coeficiente de variación y el análisis de componentes principales. En las mismas parcelas, se estudia la diversidad de herbáceas y la densidad y diversidad de plántulas de especies leñosas. Se relaciona la diversidad vegetal con el medio forestal y su heterogeneidad.

Los suelos estudiados son ácidos a muy ácidos, tienen contenido alto de materia orgánica y nitrógeno total, son pobres en nutrientes (P, K, Ca y Mg), no presentan carbonato de calcio, son deficientes en algunos micronutrientes (como Cu y Zn) pero tienen un contenido muy alto de Fe, Mn y Al. La textura de los suelos puede variar desde franco-arenosos hasta franco-arcillosos debido a que la arenisca está intercalada con estratos de arcilla que pueden aflorar o deslizarse. Las variables fisico-químicas del suelo forestal presentan alta heterogeneidad y una considerable variabilidad que depende de la pendiente de las laderas, la intensidad de la erosión y el tipo de vegetación.

En las parcelas de bosque se estudia el efecto de los tratamientos selvícolas (rozas y aclareos) sobre la heterogeneidad del medio, la fertilidad y humedad del suelo y la diversidad vegetal. Durante el primer año, después de las rozas, se encontró un aumento en la heterogeneidad del medio físico (en particular de las condiciones lumínicas), pero no se observaron cambios significativos en la biodiversidad vegetal. Por otra parte, existe una variabilidad entre parcelas (escala regional) en la biodiversidad vegetal que parece estar inducida por factores como la fertilidad y humedad del suelo, el microclima y el régimen de pastoreo.

Palabras clave: alcornocal, diversidad, suelos ácidos, variación espacial.

Introducción

En general, los suelos más fértiles han sido seleccionados para su uso agrícola y por tanto el uso forestal queda relegado a suelos con drenajes deficientes, en laderas pronunciadas, con presencia de piedras voluminosas y baja fertilidad (Pritchett, 1986). En el área de estudio, los terrenos con suelos más fértiles, p.ej. los "bujeos", han sido desmontados y utilizados para cultivos o pastizales, mientras que los terrenos con suelos rocosos y menos fértiles mantienen una vegetación natural, de bosques (alcornocal/quejigar) y matorrales. Los usos forestales más importantes son la extracción de corcho (cada 9 años) y las actividades cinegéticas.

Huston (1993) ha encontrado una relación entre diversidad y fertilidad de los suelos, en distintos tipos de clima, a escala global. Janssen *et al.* (1998) han encontrado una correlación entre el P y K en el suelo y la diversidad específica de los prados, en zonas templadas de Europa. Ajbilou (2001) ha estudiado los bosques del norte de Marruecos y ha encontrado una cierta tendencia a mayor biodiversidad (riqueza de especies leñosas) en las zonas bajas, con menor cobertura arbórea, suelos menos ácidos pero con mayor concentración de nitrógeno y fósforo.

La eliminación de la cubierta forestal resulta en un aumento de las temperaturas del suelo que afecta a la germinación y supervivencia de las plántulas (Pritchett, 1986). Los desbroces tienden a aumentar las variaciones microclimáticas de temperatura tanto diarias como estacionales, así como a favorecer la escorrentía superficial a costa de disminuir la infiltración. En la gestión tradicional del alcornocal se realizan tareas de desbroce (el invierno anterior a la extracción de corcho) para permitir el acceso al bosque, mejorar las condiciones del arbolado y la calidad del corcho, y para reducir la probabilidad de que ocurra un incendio. El desbroce puede ser básicamente de tres tipos: a) por ruedos (se desbrozan 3 m alrededor de cada alcornoque), b) total o roza (se agrupan los ruedos y se roza todo el matorral incluido en el bosque) o c) lineal (se unen por medio de veredas unos ruedos con otros para permitir la movilidad) (Torres y Montero, 2001).

La capa superficial de los suelos forestales (horizonte A que corresponde a los primeros 10 cm) almacena la mayor parte de los nutrientes y los aportes de materia orgánica, y es donde se desarrollan la mayor parte de los sistemas radicales de las plantas leñosas y herbáceas, y persiste el banco de semillas. En los suelos derivados de arenisca y con alto contenido en materia orgánica (como los estudiados), el agua disponible se encuentra principalmente adsorbida en la materia orgánica. Las perturbaciones como el fuego o los desbroces extensivos en laderas con pendientes elevadas producen una erosión de la capa de materia orgánica y de los primeros horizontes edáficos (Jordán *et al.*, 1997), con un impacto negativo sobre el ecosistema forestal.

La gestión del bosque debe asegurar su regeneración. Se ha detectado un descenso en la regeneración del alcornocal en los últimos 30 años (Sánchez *et al.*, 2000). Entre los factores que pueden perjudicar la supervivencia de las plántulas se pueden citar el efecto de la sequía, el pastoreo abusivo y generalizado, la proliferación de herbívoros silvestres, los desbroces mecánicos extensivos y repetidos que eliminan alcornocales jóvenes y destruyen el matorral protector.

La gestión del bosque también debe mantener o aumentar su biodiversidad, por mandato de la Convención Internacional de Diversidad Biológica. En un estudio de los bosques de Marruecos (Ajbilou, 2001) se ha encontrado que una intensidad moderada de rozas puede aumentar la biodiversidad de la comunidad vegetal, al disminuir la dominancia de algunas especies (como los brezos) y favorecer así la coexistencia (según la hipótesis de la "perturbación intermedia" de Connell). En otro estudio, esta vez realizado en la Parque Los Alcornocales (Coca, 1999), también se ha encontrado que la roza tiene un efecto positivo sobre la diversidad y riqueza de especies del sotobosque. Sin embargo, hay que matizar que una mayor riqueza de especies no siempre significa una mayor biodiversidad, ya que la comunidad se puede ver enriquecida por especies "oportunistas" y colonizadoras que tienen poco valor desde el punto de vista de la conservación (Ojeda *et al.*, 1996).

La heterogeneidad ambiental, tanto en el espacio como en el tiempo, tiende a aumentar la diversidad del sistema. Uno de los mecanismos principales es el aumento de la disponibilidad de nichos que permiten la coexistencia de un mayor número de especies, mediante el uso diferencial de micro-hábitats. Aunque en la práctica se han encontrado tendencias positivas, neutras e incluso negativas, entre la diversidad y la heterogeneidad (Wilson, 2000). La cuantificación de la heterogeneidad y la predicción de sus consecuencias a diferentes escalas (individuo, población, comunidad y paisaje) es una de las fronteras actuales en el avance de la Ecología (ver capítulos en Hutchings y Stewart 2000).

En este trabajo se estudia la heterogeneidad del medio físico del bosque, en particular la fertilidad y humedad del suelo, mediante el coeficiente de variación y el análisis de componentes principales. A continuación se relaciona esta heterogeneidad con la diversidad de herbáceas en el sotobosque y con la densidad y diversidad de plántulas de especies leñosas. Por último, se discuten algunas implicaciones para la gestión del bosque.

Métodos

Área de estudio

El Parque Natural Los Alcornocales tiene una extensión de 170.000 ha, en su mayor parte en la provincia de Cádiz pero también se extiende una pequeña parte en Málaga. El relieve es accidentado y con fuertes pendientes, formando las Sierras del Aljibe y del Campo de Gibraltar. Las alturas no superan en general los 900 m pero dan al conjunto un fuerte aire agreste que destaca de las suaves lomas y llanuras circundantes y del propio nivel del mar (Blanco *et al.*, 1991).

El elemento geológico predominante lo constituyen capas de areniscas silíceas intercaladas con capas margo-arcillosas y afloramientos calizos dispersos. Esta variabilidad geológica, junto a las variaciones geomorfológicas y microclimáticas (temperatura, humedad e insolación) originan una considerable variabilidad de suelos (Bellinfante *et al.* 1997; Jordán *et al.*, 1997).

Las temperaturas son suaves en toda el área, con una media anual de 17°C. Las precipitaciones medias anuales oscilan entre 1180 mm y 763 mm, debido al relieve montañoso (Torres, 1995). La proximidad al mar suaviza las temperaturas y aumenta la humedad. Las mayores precipitaciones se producen en invierno, especialmente en la zona más occidental, generadas por el viento de poniente que proviene del océano Atlántico. En verano, el viento de levante se caracteriza por ráfagas fuertes, llega cargado con vapor de agua procedente del mar Mediterráneo y al contactar con las sierras más orientales se condensa en forma de nieblas (barbas del levante). Existe una variabilidad alta entre años, en cuanto a las precipitaciones, y una predecibilidad baja de las lluvias. La mayor parte de los días de lluvia se recoge poco agua, mientras que en muy pocos días puede caer la mayor parte de la precipitación anual (Ibarra, 1993; Torres, 1995). La humedad relativa del aire es altamente variable en el tiempo; puede pasar del 30 % al 95 % en tan sólo 4 horas, según sople el viento de levante o de poniente. Durante la estación seca se ha comprobado que la humedad nocturna suele ser elevada. El almacenamiento de agua en el suelo se inicia en otoño (septiembre u octubre); desde abril hasta mayo se utiliza la humedad acumulada como reserva; mientras que durante el verano (entre junio y septiembre-octubre) se produce un déficit de agua en el suelo (González, 1997).

La biodiversidad vegetal de la región del Estrecho de Gibraltar es elevada (Ojeda *et al.* 1996, 2000). El Parque Natural Los Alcornocales está incluido en la zona Bético-Rifeña (sur de España y norte de Marruecos) que es uno de los "puntos calientes" (*hot spot*) de biodiversidad vegetal en la Cuenca Mediterránea (Médail y Quézel, 1997; Ojeda *et al.*, 2000). Gran parte (48 %) del Parque está formado por bosques con predominio del alcornoque (*Quercus suber*), mientras que el quejigo (*Quercus canariensis*) solo domina en un 4 % de la superficie (Torres, 1995). Los brezales dominan el sotobosque y las zonas abiertas de cumbres; presentan la mayor riqueza de especies endémicas, tanto leñosas como herbáceas, en parte debido al relativo

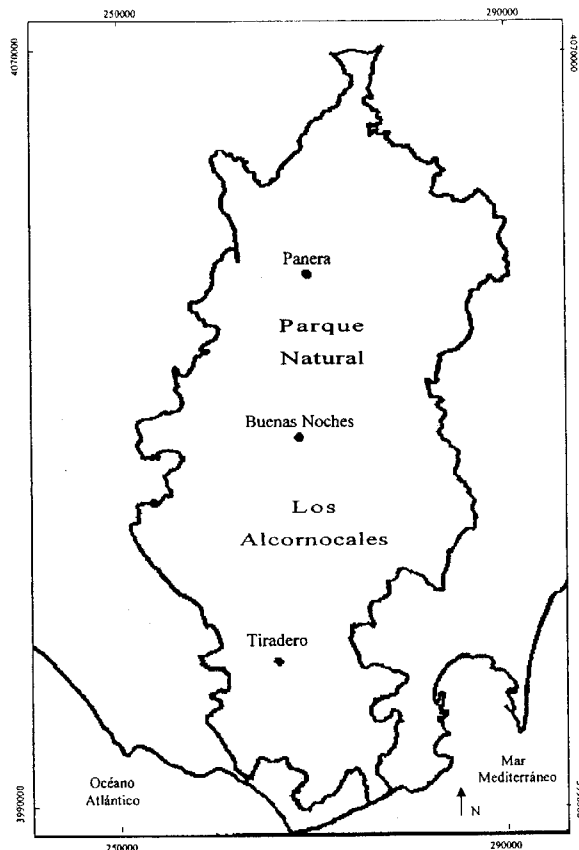


Figura 1. Ubicación geográfica de las parcelas experimentales del bosque (Tiradero, Buenas Noches y Panera) en el Parque Natural Los Alcornocales.

aislamiento ("islas edáficas") de estos suelos ácidos y pobres en nutrientes (Ojeda *et al.*, 1996). El mayor número de especies leñosas se encuentra en los bosques perennes de alcornoque mientras que la riqueza de herbáceas es semejante a los bosques semidecíduos de quejigo, pero mayor que en los coscojares sobre calizas (Ojeda *et al.*, 2000).

Localización y descripción de las parcelas

Se han delimitado tres parcelas de bosque de 1 ha cada una (Tiradero, Buenas Noches y Panera), en laderas con bosque mixto de alcornoque y quejigo, que no han sido perturbados al menos durante los últimos 20 años (ver ubicación en Figura 1). La descripción general de las tres parcelas se muestra en la Tabla 1.

En las tres parcelas hay bloques de arenisca, que varían desde 10 cm hasta varios metros, distribuidos por todo el terreno ya sea por afloramiento o por gravedad. Estos bloques junto con la pendiente de las laderas, generan un microrrelieve irregular, lleno de concavidades donde se acumula hojarasca, así como zonas convexas y pequeñas planicies (de 50 cm a 1 m aproximadamente) donde se acumula suelo mineral. Además se observan microsurdos con forma dendrítica (debida al microrrelieve) de paso de agua transitoria.

En cada una de las parcelas de 1 ha se ha delimitado una mitad donde se ha realizado un tratamiento selvícola de rozas del matorral y aclareo de árboles enfermos, mientras que la otra mitad se ha conservado como bosque control. Estas prácticas

fueron realizadas con desbrozadoras mecánicas en el invierno-primavera (diciembre-abril) del 1999-2000. En total se consideran seis sub-parcelas de bosque (3 sitios x 2 tratamientos).

Toma de muestras y análisis de suelos

En cada sub-parcela se trazaron cuatro transectos de 20 m y sobre cada transecto se han marcado de forma permanente cinco cuadros de 1 m². Se han tomado muestras de suelo superficial (0-15 cm) en una zona muy próxima a cada cuadro de muestreo (para no perturbar el interior), eliminando previamente la hojarasca. Las muestras de suelo fueron tomadas en julio de 2000 (3-6 meses después de las rozas) y se transportaron al laboratorio para su análisis.

Las determinaciones efectuadas en las muestras de suelos se realizaron siguiendo los siguientes métodos (ver Page *et al.*, 1982; MAP, 1986). La textura se determinó por el procedimiento del densímetro de Bouyoucos y los suelos se clasificaron según el criterio del USDA; el pH se midió en suspensión en agua 1:2,5; la conductividad eléctrica se midió en extracto 1:5; el contenido de carbonato cálcico se midió mediante el calcímetro de Bernard y la materia orgánica por el procedimiento de Walkley y Black; la concentración de nitrógeno se determinó por el método Kjeldahl, la de fósforo disponible por el método de Olsen y la de potasio mediante extracción con acetato amónico. Los micronutrientes se obtuvieron por extracción simple

		TIRADERO	BUENAS NOCHES	PANERA
Coordenadas medias (UTM)	Latitud	36° 9' 46" N (4005195 utm)	36° 22' 56" N (4029511 utm)	36° 31' 54" N (4046075 utm)
	Longitud	5° 35' 39" W (266637 utm)	5° 34' 57" W (268330 utm)	5° 34' 29" W (269486 utm)
Rango de altitud (msnm)		335 a 360	410 a 450	530 a 560
Altitud media (msnm)		345	430	555
Pendiente de la ladera (%) y homogeneidad de		15 a 20	15 a 30	20 a 25
pendiente en la parcela		(no homogénea)	(no homogénea)	(no homogénea)
Orientación de la ladera		NE	NE	NO
Posición en la ladera		Ladera baja-piedemonte (240 m mas baja que la cima)	Cima- ladera alta (40 m mas baja que la cima)	Ladera media (100 m mas baja que la cima)
Litología		Arenisca del Aljibe y material de deslizamiento de arenisca (Cuaternario)	Arenisca del Aljibe (Oligoceno-Mioceno)	Arenisca del Aljibe y deslizamientos en masa de arcillas rojas y bloques (Holoceno)
Textura y Porcentaje de arcilla/arena (10 cm sup.)		Franco-areno-arcilloso 23 /56	Franco-arenoso 9/70	Franco-arcilloso 39/25
Cubierta del suelo		Bosque mixto de alcomocal/quejigal con mayor proporción de alcomocoques.	Bosque de alcomocal con madroño. No hay quejigo.	Bosque mixto de alcomocal/quejigal. Mayor proporción de quejigo en zona rozada.

Tabla 1. Descripción general del medio físico en las tres parcelas experimentales de bosque.

con EDTA 0,05 M. Los valores obtenidos se comparan con las referencias para suelos agrícolas (JE, 1992) ya que no existen tablas equivalentes para suelos forestales.

La humedad del suelo se ha estimado con un sensor Hydrosense (Campbell), que mide el periodo de transmisión (en ms) de una señal eléctrica entre dos varillas metálicas de 12 cm de profundidad. Este valor es función de la constante dieléctrica del substrato y del contenido de agua. Se tomaron cuatro medidas por cuadro (80 por sub-parcela) en tres estaciones: otoño 2000, invierno y primavera 2001.

En cada cuadro de 1 m² (unidad de muestreo) se realizaron censos periódicos de la densidad de plántulas de especies leñosas, así como inventarios de la abundancia de especies herbáceas. Se utilizan los datos obtenidos en el primer ciclo después de las rozas (mayo a septiembre de 2000) (Díaz-Villa, *et al.* 2001).

Análisis estadísticos

Comparaciones entre parcelas y tratamientos. Se realizaron tests previos de normalidad y homocedasticidad; al no cumplir estas condiciones las variables en estudio ni sus transformadas, se han utilizado test de comparación no-paramétricos, en concreto el ANOVA de Kruskal-Wallis. Se respeta el anidamiento del factor "tratamiento" dentro del factor "parcela". Para los contrastes entre tipos de tratamiento (bosque rozado frente a control) se realiza la prueba no paramétrica U de Mann-Withney. Para los análisis se ha utilizado el programa Statistica (Statsoft, 1997).

Análisis de Componentes Principales (ACP). El ACP tiene la función de proyectar los puntos de un espacio multidimensional en otro con pocas dimensiones que pueda ser utilizado para detectar las principales tendencias de variación del conjunto de datos, en este caso de la variación espacial en la físico-química del suelo. El ACP también permite seleccionar las variables relevantes para análisis posteriores y generar hipótesis (Hair *et al.*, 1999). Se ha utilizado el programa PC-ORD (McCune y Mefford, 1999), con la opción de rotación Varimax, para distinguir mejor las diferencias entre muestras.

Coefficiente de Variación. El Coeficiente de Variación (CV) es una medida adimensional, que cuantifica el grado de dispersión de una muestra independientemente del valor de su media. Se calcula con la fórmula $CV = (100 \cdot DS) / X$, donde DS = desviación estándar y X = media. Al ser independiente de la media poblacional, el CV puede ser utilizado para comparar la heterogeneidad entre distintos grupos y variables.

Los coeficientes de variación son generalmente menores al 30 % en muestras no muy pequeñas, extraídas de poblaciones normales, mientras que son mayores de 50 % en poblaciones estadísticamente no homogéneas. Diversos autores (p. ej. Wilding *et al.*, 1983) han recomendado el uso del CV para cuantificar la variabilidad edáfica. Se ha estudiado la heterogeneidad de las variables físico-químicas del suelo, así como de las medidas de humedad. Se han comparado los valores obtenidos con los compilados por Quilchano (1993) a partir de varios estudios. Se han promediado los CV por sub-parcela, para diez variables físico-químicas del suelo (excluyendo P, Fe y Al que siguen el mismo patrón), para realizar la comparación entre tratamientos.

Resultados y discusión

Características del medio físico

En la Tabla 2 se muestran los valores medios, máximos y mínimos de las variables del suelo. El tamaño de muestra es de N = 40 para cada sub-parcela, excepto en Panera-rozada (N=39) donde se ha eliminado una muestra con valores anómalos para no distorsionar el análisis; para la variable textura del suelo N= 4 para cada sub-parcela. A continuación se describen las características generales de estos suelos forestales y se comparan con valores de referencia de otros estudios.

Parcela Tratam.	Tiradero (N=40)				Buenas Noches (N=40)				Panera (N=39)			
	Control		Rozada		Control		Rozada		Control		Rozada	
Var.	Media	CV	Media	CV	Media	CV	Media	CV	Media	CV	Media	CV
pH %	5,9	2	5,4	7	5,2	4	5,2	4	6,1	2	6,3	3
MO %	4,8	19	6,2	49	8,2	26	8,8	58	9,0	22	4,6	43
C %	2,8	19	3,6	49	4,7	26	5,1	58	5,2	22	2,7	43
N %	0,4	19	0,4	32	0,4	29	0,3	43	0,4	29	0,3	36
C/N	7,6	9	10,2	41	13,2	22	14,6	22	13,7	19	8,9	42
P ppm	5,4	29	4,5	35	5,9	57	6,8	80	2,4	92	6,3	43
K ppm	127,2	41	136,8	30	132,5	35	123,5	43	176,0	34	153,2	44
Ca ppm	1233	36	1519,2	45	1809,5	44	1741	52	1877,8	33	2726,2	42
Mg ppm	207,6	27	211,2	40	260,7	35	239,7	41	272,6	23	315,3	26
Fe ppm	283,2	44	224,4	30	438,4	43	284,7	36	209,9	27	194,4	23
Mn ppm	128,4	69	145,9	68	57,5	94	30,2	113	639,4	35	509,2	35
Al ppm	646,7	18	452,5	25	223,5	64	235,5	52	427,1	29	232,1	35
Cu ppm	1,6 a	23	1,4	48	1,2	30	1,4	48	2,4	37	5,0	70
Zn ppm	5,6 a	35	6,0	109	6,4	56	5,2	84	6,1	64	5,5	43

Tabla 2. Valores medios y coeficiente de variación (CV) de las variables de fertilidad del suelo de las zonas control y rozada de cada una de las tres parcelas experimentales de bosque.

Los suelos son ácidos, con alto porcentaje de materia orgánica y valores altos de nitrógeno total. La relación C/N indica que la mineralización de la materia orgánica debe estar favorecida y por lo tanto es de esperar que haya bastante nitrógeno disponible. La fertilidad, en cuanto a niveles de P, K, Ca y Mg es relativamente baja. Mientras que la concentración de micronutrientes (Fe y Mn) disponibles es relativamente alta pero también la de Al que puede generar problemas de toxicidad

en muchas plantas. Por otra parte, la concentración de Cu y Zn disponibles es baja; de hecho el nivel de Cu está por debajo del umbral para el cual se producen síntomas de deficiencia en plantas agrícolas (JE, 1992). No se ha encontrado carbonato de calcio en ninguna de las muestras analizadas, resultado esperable dada la acidez de los suelos y su litología (areniscas).

Para la comparación entre sitios se han analizado las tres sub-parcelas control. Existen diferencias significativas entre sitios para casi todas las variables (con excepción del N y Zn). A continuación se describen brevemente las particularidades de cada bosque:

- Panera tiene suelo franco-arcilloso, pH ácido (6,1) y alta materia orgánica (9%). La relación C/N es alta y por tanto se puede inferir que la liberación de N es baja. La disponibilidad de K es baja (depende de la textura del suelo y del agua disponible), mientras que la de Ca y Mg es relativamente alta (mayor que en Tiradero). Presenta niveles tóxicos de Al y Mn y niveles no deficitarios de Cu. Aunque no se ha medido la capacidad de intercambio catiónico del suelo (CIC), se puede inferir que para una textura del 39 % de arcilla es relativamente alta.
- Buenas Noches presenta suelo franco-arenoso, pH muy ácido (5,2), contenido alto de materia orgánica (8,2) y menor liberación de N. La disponibilidad de K es mayor que en los otros dos bosques (aunque el nivel absoluto es bajo), la de Ca y Mg es intermedia (mayor que Tiradero). El nivel de Al supera el umbral de toxicidad, mientras que el de Cu es inferior al umbral de deficiencias.
- Tiradero tiene un suelo franco-areno-arcilloso, con pH ácido (5,9), menor contenido en materia orgánica (4,8 %) y mayor liberación de N. La disponibilidad de K es muy baja, y las de Ca y Mg son las menores para los tres bosques. Los niveles de Mn y Al pueden causar toxicidad, mientras que por el contrario el nivel de Cu puede originar deficiencias.

La comparación entre sitios, en cuanto al contenido en humedad del suelo ha mostrado las mayores diferencias durante el invierno, cuando el suelo está cargado de agua; la media global es de 31,2 % de agua y los tres bosques difieren significativamente: Buenas Noches (36 %) > Panera (30 %) > Tiradero (28 %). En otoño, cuando el suelo se está recargando de agua, la media determinada ha sido de 18 % de agua y no se han observado diferencias entre sitios. En primavera, cuando la reserva de agua en el suelo se está utilizando o agotando, se ha calculado una media de 11,3 % de agua, siendo Buenas Noches el bosque con mayor capacidad de retener agua en el horizonte superficial del suelo.

La comparación entre tratamientos (subparcela rozada frente a control), sólo ha mostrado diferencias significativas en Panera (diferencias significativas para 11 variables). La sub-parcela rozada de Panera presenta menor contenido de materia orgánica (4,6 %) que en la control (9 %); y la humedad del suelo (55 % en invierno) es mayor que en la control (30 %). Estos resultados podrían interpretarse como un posible efecto de las rozas induciendo un proceso de erosión y pérdida de fertilidad del suelo. Aunque una interpretación alternativa, más parsimoniosa es que posiblemente las dos zonas difieren en el sustrato, a pesar de estar adyacentes, independientemente del tratamiento selvícola que han recibido. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que estos resultados son preliminares e indican una respuesta a corto plazo (unos meses después de las rozas), mientras que los procesos edáficos y ecológicos son más lentos. Es posible que se produzcan diferencias significativas a medio y largo plazo como efectos de las rozas sobre el ecosistema (microclima, suelo, vegetación) y por tanto es necesario un seguimiento continuado de estas parcelas experimentales.

Tendencias de variación en la fertilidad

El análisis de componentes principales (ACP) permite detectar las principales tendencias de variación entre las muestras de suelo según su fertilidad (Figura 2). En este gráfico cada punto representa una muestra de suelo (tomada junto al correspondiente cuadro de 1m²) y su ordenación respecto a los dos ejes principales del análisis refleja su grado de variabilidad

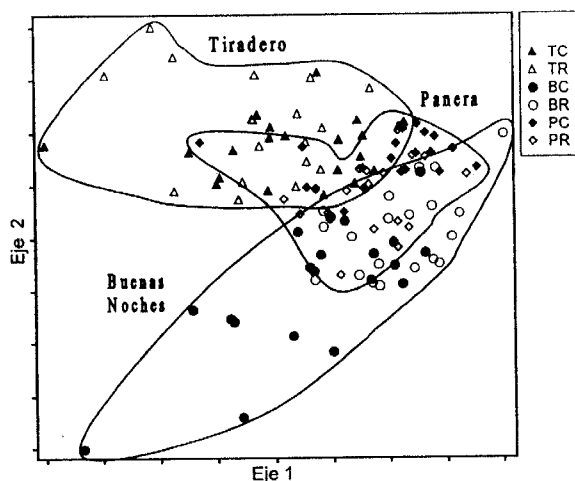


Figura 2. Análisis de componentes principales (ACP) de las variables físico-químicas del suelo forestal. Cada punto representa un cuadro permanente de muestreo. Los símbolos distinguen el tratamiento: zona control (C) o rozada (R), y el bosque: Tiradero (T), Buenas Noches (B) y Panera (P).

espacial. Los tres bosques son bastante heterogéneos, en cuanto a las características de suelo, siendo Panera el que presenta la menor dispersión entre sus muestras. Por otro lado, existe un claro solapamiento (semejanza) entre los tres grupos de muestras (Figura 2).

Los primeros tres ejes del ACP explican el 65 % de la varianza total encontrada, aportando el primer eje un 32 % de variación y el segundo un 22 %. Las variables que se correlacionan (negativamente) con el primer eje son Ca, Mg, K y Cu (en orden decreciente). Con el segundo eje, en cambio, se correlaciona positivamente el pH y negativamente C y Fe. El tercer eje está fuertemente correlacionado (positivamente) con Al y en menor medida con N. Las muestras de suelo de los tres bosques se mezclan a lo largo del eje 1 que refleja un gradiente amplio de fertilidad en Ca, Mg y K; sin embargo Buenas Noches con los suelos más ácidos se separa de Tiradero según el eje 2, estando Panera en posición intermedia (Figura 2).

Heterogeneidad del suelo

La magnitud del coeficiente de variación de las variables de suelo nos permite evaluar su grado de heterogeneidad espacial. El pH es la variable menos dispersa (CV entre 2 y 9 % según la escala espacial y el tamaño muestral considerado). El contenido en macronutrientes y en materia orgánica del suelo son variables que presentan alta dispersión (CV entre 19 y 92 con media de 45 %). Por último, los suelos forestales estudiados son altamente heterogéneos en cuanto a sus contenidos en micronutrientes (CV entre 17 y 113 con media de 66 %). En general, estos valores de CV se encuentran dentro de los rangos hallados por otros investigadores para distintos tipos de suelos y tamaños muestrales (Quilchano, 1993).

Comparando los tres sitios en su conjunto no se encontraron diferencias significativas en los CV de las variables físico-químicas del suelo entre parcelas. Al comparar tratamientos dentro de cada bosque (rozado frente a control) se encontraron diferencias significativas en Tiradero y Panera (ambos con $p=0,049$, $N=20$), siendo más heterogénea la zona rozada (Figura 3A). En Buenas Noches las diferencias no son significativas, aunque también se observa la misma tendencia.

Las rozas inducen un aumento a corto plazo (en pocos meses) de la heterogeneidad del suelo forestal. Las variables de fertilidad del suelo, ya sea la relación C/N, el contenido en materia orgánica, en macro- o micronutrientes, presentan una mayor variabilidad espacial en las sub-parcelas tratadas selvícolamente. Al eliminar la cobertura continua de matorral a veces quedan árboles aislados en una formación "sabanoide" o bosque claro con abundantes huecos desprotegidos. Estos claros están más expuestos a las lluvias fuertes que pueden provocar erosión (que reduce el horizonte A, reduce la infiltración y aumenta la escorrentía superficial) en parches, también están más expuestos a la luz directa del sol y sufren mayores oscilaciones en las variables microclimáticas. A escala de paisaje, la combinación de manchas rozadas y conservadas, también aumenta la heterogeneidad.

La humedad del suelo en la estación del año en que se encuentra cargado de agua (invierno) es más homogénea que en primavera, cuando se está descargando. La comparación entre los tres bosques (sub-parcelas control) en cuanto a la humedad del suelo en primavera, muestra diferencias significativas entre ellos, siendo Panera el más heterogéneo (Figura 3B). La comparación entre tratamientos muestra que las zonas rozadas son más heterogéneas en el contenido de humedad del suelo

que las zonas control, excepto en el bosque de Tiradero donde ambas son relativamente homogéneas (Figura 3B). Este aumento de heterogeneidad con las rozas parece estar causado por el cambio desde un bosque con una cubierta más o menos continua (aunque compleja) a otro bosque aclarado con fuertes contrastes entre parches sombreados (bajo árboles adultos y sanos) y parches con suelo descubierto. Este aumento de la heterogeneidad en la humedad del suelo (al menos de los 12 cm superficiales) estaría causado por la mayor variabilidad en temperatura y evaporación (Noejovich, 2001); también, las rozas dejan parches de suelo descubierto, modificando los flujos de infiltración y escorrentía y generando surcos más profundos por los que discurre el agua. En el caso particular de Tiradero es un bosque de árboles altos y centenarios donde la eliminación del estrato arbustivo por las rozas ha tenido menor impacto en la heterogeneidad del suelo.

En la mayoría de los estudios de variabilidad espacial del suelo se han encontrado valores altos de CV en distancias relativamente pequeñas (menores de 1 m), incluso algunas propiedades morfológicas varían ampliamente en unos pocos mm de distancia. Tampoco es raro encontrar para algunos parámetros edáficos, una variabilidad mayor dentro de una serie de muestras de suelo que entre distintas series (ver referencias en Quilchano, 1993). Wilding y Drees (1983) diferencian dos tipos de variaciones de suelos: a) una variación sistemática, que consiste en cambios graduales o pronunciados de las propiedades del suelo; esta variación puede ser explicada por los factores formadores del suelo. b) Una variación al azar, que no puede relacionarse con los factores formadores.

Diversidad de herbáceas

La riqueza de especies herbáceas (a escala de 1 m²) difiere significativamente entre los tres bosques, comparando las zonas control: Panera es el más diverso, seguido de Buenas Noches y por último Tiradero (N=60, p<0,0001). Por otra parte, no se hallaron diferencias significativas entre los tratamientos (rozado frente a control) en ninguno de los tres sitios (Figura 4A).

En el bosque de Panera la proporción de herbáceas anuales y especies típicas de pastizal es mayor, mientras que en los otros dos bosques las especies herbáceas son en su mayor parte "nemorales" o típicas de bosque (Díaz-Villa com. pers.). Según informan los guardas forestales y hemos constatado con nuestras propias observaciones el bosque de Panera está sometido a una considerable presión de pastoreo por ganado vacuno que sin duda ha influido en el "adhesamiento" de este bosque. El cerramiento de las parcelas experimentales (exclusión del ganado) junto con el aclaramiento del bosque por rozas debe tener importantes consecuencias para la dinámica de estas comunidades herbáceas que serán evaluadas en estudios posteriores.

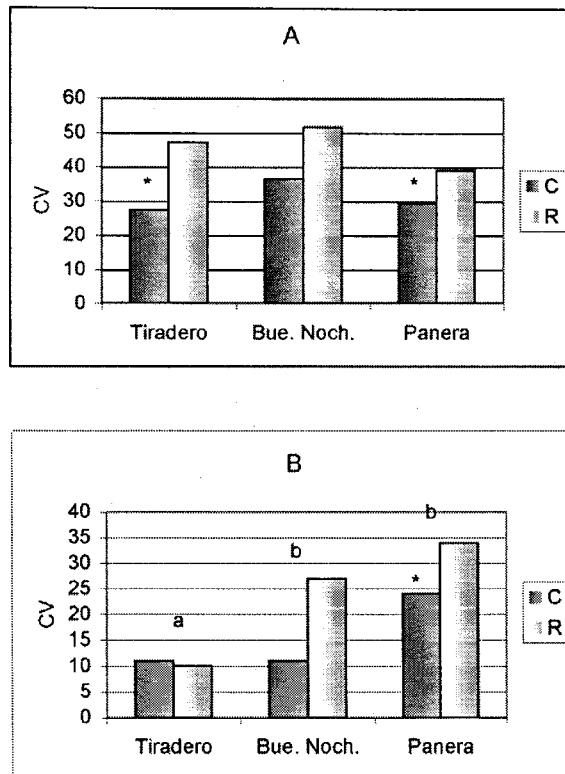


Figura 3. Coeficiente de variación medio para cada parcela de bosque y tratamiento (C=control y R=rozada) de (A) variables físico-químicas del suelo y (B) humedad del suelo (B). Se señalan las diferencias significativas con $p < 0,001$ entre tratamientos (*). En la comparación entre parcelas, las letras diferentes (a y b) indican diferencias significativas.

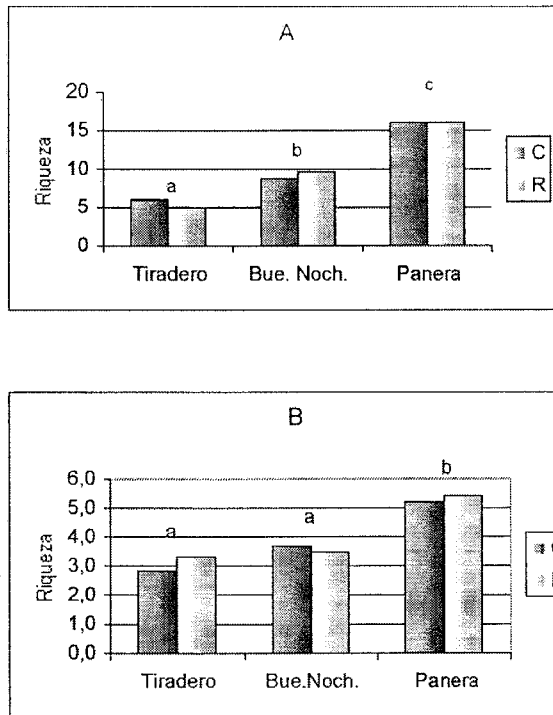


Figura 4. Riqueza de especies en cada parcela de bosque y tratamiento (C=control y R=rozada). En la gráfica superior (A) se presentan las especies y en la inferior (B) las plántulas de especies leñosas. Las diferencias significativas entre parcelas (con $p < 0,0001$) se señalan con letras diferentes (a, b y c). Los tratamientos no difieren significativamente.

composición de la comunidad como un aumento de su diversidad. Habrá que continuar el seguimiento de estas parcelas durante al menos cinco años para poder analizar esta dinámica.

Regeneración de especies leñosas

La riqueza de plántulas de especies leñosas (suma de las germinadas y emergidas entre mayo y septiembre de 2000 más las ya establecidas) difiere significativamente entre los tres bosques, comparando sólo las zonas control: Panera tiene la mayor riqueza (media=5,2 CV=38) seguido de Buenas Noches (media=3,7, CV=22) y Tiradero (media=2,8, CV=75). Por otra parte, no se han encontrado diferencias significativas entre tratamientos (rozado frente a control) en la fase de regeneración de especies leñosas, tanto en la riqueza como en la densidad de plántulas (Figura 4B).

Existe una tendencia a la mayor riqueza de especies leñosas en fase de plántula en el bosque con suelos más fértiles y que presenta una mayor heterogeneidad del medio físico, Panera. Es llamativo que no se haya encontrado diferencias entre tratamientos en el reclutamiento de plantas leñosas, aunque de nuevo hay que recordar que son resultados muy preliminares (pocos meses después de la perturbación) y más en el caso de los organismos de larga vida como los árboles y arbustos.

Las correlaciones (coeficientes de Spearman) entre la riqueza de especies herbáceas en los 60 cuadros de bosques control y sus variables del medio físico han sido significativamente positivas para la luz, la relación C/N, el contenido en materia orgánica y el pH, mientras que han sido negativas para el contenido en P y en Zn (Noejovich, 2001). Es decir, las comunidades herbáceas tienden a ser más diversas en los micrositios más iluminados y con suelos más fértiles, por tanto con mayor abundancia de recursos que supuestamente permiten la coexistencia de un mayor número de especies. El efecto negativo del fósforo y el zinc parecen ser una excepción y tendrán que ser estudiados con mayor detalle.

El bosque con mayor heterogeneidad del medio físico, Panera, es también el que presenta una mayor diversidad de especies herbáceas. Además de la mayor abundancia de recursos, como se ha explicado anteriormente, en este bosque puede ocurrir una mayor separación de nichos entre especies al ser más heterógeno y por tanto alberga una mayor biodiversidad. Por otra parte, las rozas aumentan la heterogeneidad del medio físico en el bosque, sin embargo no se han encontrado diferencias significativas en la riqueza de especies herbáceas por tratamiento (Noejovich, 2001). Hay que tener en cuenta que se ha estudiado la respuesta en un plazo muy corto (unos meses después de las rozas) y posiblemente el proceso de colonización de las zonas aclaradas producirá a medio plazo tanto un cambio en la

Gestión del bosque

Los desbroces son prácticas selvícolas habituales en la gestión del bosque mediterráneo. Resultan de particular necesidad en el alcornocal para facilitar la extracción del corcho cada 9 años. Las rozas extensivas aumentan la heterogeneidad del medio físico y aunque a corto plazo no se han encontrado efectos significativos sobre la biodiversidad, es previsible que a medio plazo se produzca un cierto aumento. Sin embargo hay que ponderar este posible aumento de la diversidad de especies herbáceas ya que en gran parte se debe a la colonización de especies propias de pastizal y una actuación intensa y continuada de las rozas, unidas al pastoreo intensivo puede llevar a un proceso de "adhesamiento" del bosque; éste sería el caso del bosque Panera estudiado. Los sistemas adhesados son valiosos ecológicamente pero son diferentes al bosque, por ejemplo, gran parte de las zonas de "bujeos" en el Parque han sido transformadas en pastizales con arbolado. Es importante conservar zonas extensas de bosque con su fauna y flora propias.

Los desbroces también tienen una misión importante reduciendo los riesgos de incendio, pero si estas rozas son demasiado intensas y generalizadas destruyen el ambiente del alcornocal, disminuyendo la diversidad del sotobosque y aumentando el riesgo de erosión (Torres y Montero, 2001). En el presente estudio (muy preliminar) no se han observado efectos significativos de las rozas sobre la regeneración del bosque; es necesario un seguimiento a medio y largo plazo para poder evaluar la dinámica de la regeneración del bosque e identificar los posibles "cuello de botella" que la obstaculizan.

Agradecimientos

Este estudio ha sido realizado como proyecto del Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal, IRNA Sevilla, y financiado por el proyecto FEDER IFD97-0743-C03-03. Agradecemos a Felipe Oliveros, Director-Conservador del Parque Natural Los Alcornocales, a los agentes forestales del Parque y al personal de TRAGSA su ayuda en la selección, instalación y tratamientos en las parcelas experimentales. Malole Díaz-Villa ha realizado los censos de plantas, Juan Arroyo ha participado en el diseño experimental, Chelo Quilchano, Luis V. García y A. Jordán han asesorado en los temas edafológicos, Fernando Valladares y Miguel Zavala nos han inspirado la importancia ecológica de la heterogeneidad, Rafael López y su equipo han realizado los análisis químicos de suelos en el IRNA.

Bibliografía

- AJBILLOU, R. 2001. "Biodiversidad de los bosques de la Península Tingitana (Marruecos)". Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- BELLINFANTE, N., I. Gómez, A. Ruiz y G. Paneque. 1997. "Suelos sobre areniscas silíceas del Parque Natural Los Alcornocales". *Edafología* 3: 309-316.
- BLANCO, R., J. Clavero, A. Cuello, T. Marañón y J.A. Seisdedos. 1991. *Sierras del Aljibe y Campo de Gibraltar*. Diputación de Cádiz, Cádiz.
- DÍAZ VILLA, M.D., T. Marañón y J. Arroyo. 2001. "Regeneración del bosque mediterráneo: Bancos de semillas y emergencia de plántulas". *Almoraima* (en prensa).
- COCA P.M. 1999. "Efectos de la intervención humana y de los factores ambientales sobre la vegetación del alcornocal en el Parque Natural los Alcornocales: Cádiz-Málaga". Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla.
- GONZÁLEZ R., L. 1997. *Interrelaciones Entre Clima Suelo y Vegetación en la porción NO de la Cuenca del Hozgarganta: Provincia de Cádiz*. Monografía Curso Internacional de Edafología y Biología vegetal, IRNASE, CSIC.
- HAIR J. F., R.E. Anderson, R.L. Tathan, W.C. Black. 1999. *Análisis multivariante*. Prentice Hall Iberia, Madrid.
- HUSTON, M. 1993. "Biological diversity, soil and economics". *Science* 262:1676-1680.
- HUTCHINGS, M.J., E.A. John y A.J.A. Stewart. (eds.) 2000. *The ecological consequences of environmental heterogeneity*. Blackwell, Oxford, Inglaterra.
- IBARRA B., P. 1993. *Naturaleza y hombre en el sur del Campo de Gibraltar*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla.
- JANSSEN, F., A. Peeters, J. Tallowin, J.P. Bakker, F. Fillat, M.J.M. Moomes. 1998. "Relationship between soil chemical factors and grassland diversity". *Plant and Soil*, 202: 69-78.
- JE (Junta de Extremadura) 1992. *Interpretación de Análisis de Suelo, Foliar y Agua de riego*. Mundi-Prensa.
- JORDÁN A., A. Ruiz, I. Gómez y F. Limón. 1997. "Principales tipos de suelos asociados al bosque de *Quercus* sp. y brezal en el Parque Natural Los Alcornocales". *Almoraima* 19: 231-240.
- MEDÁIL F. y P. Quézel. 1997. "Hot spots analysis for conservation of plant diversity in the Mediterranean Basin", *Annals of the Missouri Botanical Garden* 84: 112-127.

- MAP (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación). 1986. *Métodos Oficiales de Análisis*. Vol. III. Madrid.
- McCUNE, B. y J.M. Mefford. 1999. *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data*, v. 4. MjM Software, Glenden Beach, Oregon EEUU.
- NOEJOVICH, L. 2001. *Heterogeneidad del medio físico y biodiversidad en el bosque del Parque Natural Los Alcornocales*. Memoria del Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal, IRNA, Sevilla.
- OJEDA, F., T. Marañón y J. Arroyo. 1996. Patterns of ecological, chorological and taxonomic diversity at both sides of the Strait of Gibraltar. *Journal of Vegetation Science*. 7: 63-72.
- OJEDA, F., T. Marañón y J. Arroyo. 2000. "Plant diversity patterns in the Aljibe Mountains (S. Spain): a comprehensive account". *Biodiversity and Conservation* 9: 1323-1343.
- PAGE A.L., R.H. Miller, D.R. Keeney. 1982. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties*, 2ª ed. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, EEUU.
- PRITCHETT, W. L. 1986. *Suelos Forestales*, Limusa, Mexico.
- QUILCHANO, C. 1993. *Contribución al estudio de algunos parámetros edáficos relacionados con los ciclos biogeoquímicos en ecosistemas forestales*. Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca.
- SÁNCHEZ, J.M., A. Muñoz y N.B. Carrascosa. 2000. "Una aproximación al fenómeno de la "seca" en el Parque Natural de los Alcornocales: el caso de los Montes de El Rincón (Los Barrios)". *Almoraima*, 23: 141-153.
- STATSOFT 1997. *Statistica for Windows v 5.1*. Tulsa, Oklahoma, EEUU.
- Torres, E. 1995. *Estudio de los Principales Problemas Silvícolas de los Alcornocales del macizo del Aljibe: Cádiz y Málaga*. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Madrid.
- TORRES, E. y G. Montero. 2001. *Los alcornocales del Macizo del Aljibe y sierras del Campo de Gibraltar*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, Madrid.
- WILDING L. P. y L.R. Drees. 1983. "Spatial Variability and Pedology". En: *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions*, pp. 83-116. Elsevier, Amsterdam.
- WILSON, S.D. 2000. "Heterogeneity, diversity and scale in plant communities". En: Hutchings, M.J., John, E.A. y Stewart, A.J.A. (eds.) 2000. *The ecological consequences of environmental heterogeneity*. pp. 53- 69. Blackwell, Oxford, Inglaterra.