

**APLICACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA  
EN EL ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE VEGETACIÓN  
EN FUNCIÓN DE CONDICIONES ECOLÓGICAS DE DISTRIBUCIÓN  
EN LADERAS EXPERIMENTALES**

Antonio GALLEGOS<sup>1</sup>  
Jesús DELGADO<sup>1</sup>

RESUMEN.— Los sistemas de información geográfica (SIG) y las bases de datos son instrumentos con gran potencialidad de uso para el estudio de la vegetación y su distribución en el territorio. Hemos llevado a cabo una metodología para analizar los patrones de vegetación (distribución de especies vegetales) en función de las condiciones ecológicas de su localización (pendiente, pH, conductividad hidráulica no saturada, agua útil y textura según el porcentaje en arcillas y arenas), con el fin de constatar las correlaciones existentes entre especies y condiciones ecológicas. Este tipo de análisis presenta una variada posibilidad de aplicación según la escala de trabajo y las variables ecológicas seleccionadas, y puede servir de instrumento para la toma de decisiones en el campo de la planificación territorial o de la conservación del medio ambiente.

ABSTRACT.— Geographic information systems (GIS) and data bases open up a range of potential use opportunities in the study of vegetation and its distribution over the territory. We have carried out a methodological research to analyse the vegetation patterns (vegetal species distribution)

Recepción del original: 28-10-2016

<sup>1</sup> Departamento de Geografía. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Málaga. Campus Universitario de Teatinos, s/n. E-29071 MÁLAGA. a.gallegos@uma.es, jdelgado@uma.es

based on the ecological conditions in their respective location (slope, pH, unsaturated hydraulic conductivity, useful water, and texture according to percentage in clays and sands), in order to identify the correlations between species and ecological conditions. This type of analysis suggests a wide range of application opportunities depending upon the scale of work and ecological variables. They can also be decision-making tools in the field of land-use planning or environment conservation.

KEY WORDS.— Geographic information system (GIS), vegetation quantitative analysis, vegetation pattern, ecological condition distribution.

## INTRODUCCIÓN

El objetivo fundamental de este artículo es aplicar un sistema de información geográfica en el análisis de los patrones de vegetación en función de las condiciones ecológicas de distribución en laderas experimentales. Es decir, conseguir un método a través del cual podamos analizar de qué forma una serie de condiciones ecológicas seleccionadas determinan la distribución de las especies vegetales.

Las condiciones ecológicas seleccionadas son determinadas propiedades hidrodinámicas junto con la pendiente de la ladera. Estas propiedades han sido relacionadas con la distribución de las especies de vegetación. El objetivo es buscar la correlación entre dichas propiedades y las condiciones de ubicación, si bien este artículo se centra en su aspecto más metodológico, dado que la parcela de experimentación elegida, con apenas 360 m<sup>2</sup> de superficie, puede resultar insuficiente para conseguir las correlaciones esperadas. En este sentido, en función de la disponibilidad de datos y de la línea de investigación seguida, se podría aplicar la metodología en una superficie experimental mayor.

## CARACTERÍSTICAS DE LA PARCELA EXPERIMENTAL

La parcela experimental tiene una longitud de 102 metros, desde el interfluvio, en la parte alta, hasta el *talweg*, en el fondo del valle, y una anchura de 5 metros. No obstante, solo trabajaremos con los 72 metros de la parte superior, dado que en las proximidades del *talweg*, el roquedo aflora y el suelo es prácticamente inexistente.

Se localiza en las estribaciones nororientales de la unidad natural de los Montes de Málaga, en la provincia de Málaga (España), y a unos 16 kilómetros al nornoroeste de la capital. Esta unidad forma parte de las alineaciones montañosas de las Cordilleras Béticas en el sur de Andalucía. Más concretamente, esta parcela se sitúa en la cabecera de la cañada de Trevenes, uno de los tributarios del arroyo Solano, que a su vez desemboca en el río Benamargosa, a unos 6,5 kilómetro al sur de la localidad de Colmenar.

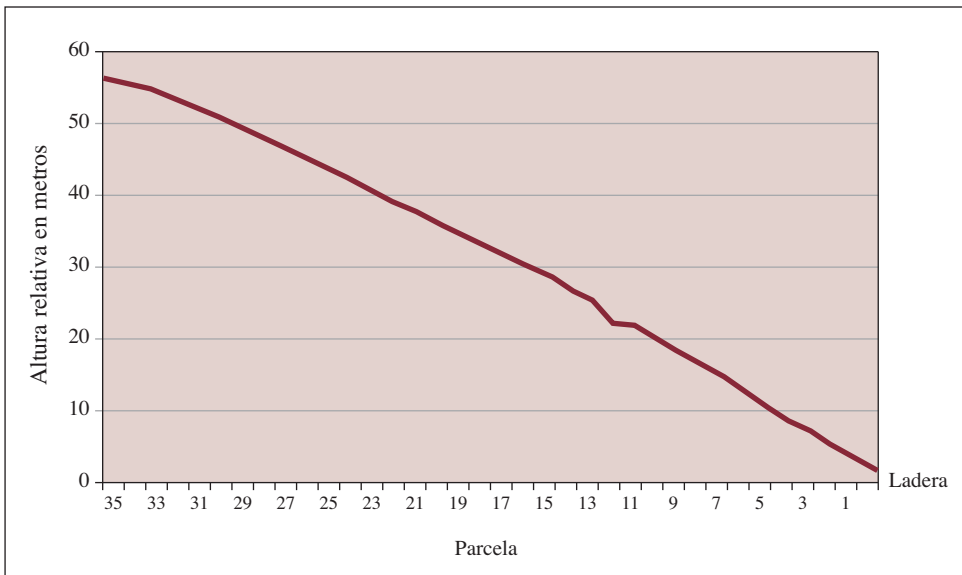
La morfología que presenta es la existente en el conjunto de la unidad de los Montes de Málaga, caracterizada por una topografía muy compartimentada, configurada por una densa red dendrítica de arroyos y cañadas, que modelan vertientes de mayor pendiente en los tramos bajos y coronadas por lomas convexas de formas redondeadas. Los materiales predominantes son filitas del Precámbrico – Silúrico, pertenecientes al Maláguide, el manto de corrimiento más superficial de los que conforman las Unidades Internas de las Béticas.

Esta zona presenta un clima típicamente mediterráneo, con una marcada sequía estival y una mayor época de lluvias en invierno con respecto a las precipitaciones, y unas temperaturas medias que marcan unos inviernos suaves y unos veranos no excesivamente calurosos. Según los datos de la estación meteorológica más cercana, situada en Colmenar, a 680 metros de altitud, la precipitación media anual asciende a 831,5 milímetros y la temperatura media anual es de 13,25 °C. El periodo donde se concentran las lluvias es el comprendido entre los meses de noviembre y febrero, con los máximos pluviométricos localizados en noviembre (124,9 milímetros) y diciembre (114,6 milímetros).

La vegetación actual corresponde a un matorral mediterráneo con diferentes grados de cobertura y densidad a lo largo de toda la parcela, y que en ningún caso sobrepasa el metro o metro y medio de altura. Atendiendo a la sectorización biogeográfica, es una zona localizada en el Distrito Axarquienense del Sector Malacitano – Axarquienense de la Provincia Bética (Región Mediterránea). La vegetación climácica correspondería a un bosque de encinar climatófilo mesomediterráneo perteneciente a la asociación *Paeonio coriaceae* – *Querceto rotundifoliae* (Serie mesomediterránea, Bética, Mariánico – Monchiquense, (seca) subhúmeda (húmeda), basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*). Según NIETO CALDERA y cols. (1998), estos

encinares mediterráneos se caracterizan por la presencia de *Paeonia brotteri* y *Paeonia coriacea*, acompañados frecuentemente por *Rosa canina*, *Lonicera etrusca*, *Lonicera implexa*, *Clematis flammula*, *Daphne gnidium*, *Aristolochia longa* y *Quercus faginea*. Cuando el suelo es menos profundo, como es el caso de nuestra parcela experimental, las especies características del primer estadio de sustitución, y que conforman una vegetación tipo matorral, son *Quercus coccifera*, *Crataegus monogyna*, *Calicotome villosa*, *Asparagus albus*, *Rhamnus oleoides*, *Retama sphaerocarpa*, etcétera. En el matorral bajo (romerales y tomillares), el más característico de nuestra zona de estudio, aparecen *Rosmarinus officinalis*, *Phlomis purpurea*, *Genista umbellata*, *Ulex parviflorus*, *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Thymra capitata*, *Teucrium lusitanicum*, *Sideritis hirsuta*, *Satureja graeca*, *Asperula hirsuta*, etcétera.

La orientación de la parcela de experimentación es sur, localizándose a una altitud de 760 msnm. La pendiente media se sitúa en torno al 51%. No obstante, no es homogénea, presentando el modelado típico de las laderas de los Montes de Málaga, de cumbres convexas, suaves en el primer tramo y más acusada a medida que vamos descendiendo en altura.



**Fig. 1.** Perfil de la ladera.

Estas diferencias en la pendiente también tienen su reflejo en la distribución general de la vegetación, que en una primera aproximación quedaría como sigue:

- En la zona superior (75 – 102 metros), coincidiendo con una menor pendiente (37%) y unas propiedades edáficas favorables (mayor profundidad, mayor contenido en materia orgánica, mayor presencia de agua útil, pH neutro, etcétera), encontramos una mayor presencia de la vegetación, tanto en altura como en extensión. La cobertura total ronda el 69% de la superficie, superando gran número de individuos el metro y medio de altura. Las especies predominantes son *Ulex baeticus* y *Cistus albidus*, siendo también frecuentes *Cistus monspeliensis* e *Inula viscosa*. También aparecen *Lavandula stoechas* y *Daphne gnidium*.
- En la zona media (30 – 75 metros), de mayor pendiente (52%) y suelos de menor profundidad, la presencia de la vegetación desciende, tanto en cobertura como en porte, desapareciendo especies como *Ulex baeticus* o *Cistus monspeliensis*. Predominan dos nuevas especies, la *Genista umbellata* y el *Phlomis purpurea*, y también son muy abundantes los individuos de *Daphne gnidium* e *Inula viscosa*, siendo esta última una especie claramente ruderal. Aparecen con escaso porte individuos de *Lavandula stoechas*, *Thymbra capitata* y *Cistus albidus*. Hay que señalar la presencia, en la parte baja, de un individuo de *Retama sphaerocarpa*, con un porte superior a los 3 metros. Corresponde, fisiográficamente, con la zona de transferencia hidrológica, empezando a aflorar el material parental, por lo que la relación con el sustrato empieza a ser importante.
- En la zona inferior (hasta 30 metros), la vegetación es mucho más exigua, debido a una mayor pendiente (en torno al 62%), pedregosidad y rocosidad de la vertiente. La especie más abundante es la *Genista umbellata*, seguida por la *Inula viscosa*, y algunos individuos de *Lavandula stoechas*. El factor determinante aquí es el sustrato, con el afloramiento continuo de la roca madre y la práctica inexistencia de suelos.

## MATERIAL Y MÉTODO

La metodología aquí desarrollada se ha aplicado en este caso concreto a una escala grande, lo que exige un registro de la vegetación muy detallado, prácticamente individuo a individuo. Así, partiendo de la escala 1 : 1 en el campo, luego se ha digitalizado a escala 1 : 25, y se han representado los resultados a escala 1 : 500. También sería posible llevar a cabo una aplicación a escalas más pequeñas, lo que significaría un mayor esfuerzo y una mayor densidad de muestreo de los condicionamientos ecológicos requeridos. En contrapartida, sería necesaria una mayor generalidad en el registro de la vegetación, bien sea por teselas o bien por formaciones vegetales. La escala de trabajo dependerá de las finalidades del estudio que realizar.

En nuestro caso, hemos tomado 27 puntos de muestreo en la parcela experimental, separados regularmente en tres columnas de nueve filas, de los que hemos obtenido muestras de suelo a las que se han realizado diversos análisis, tales como textura, agua útil, conductividad hidráulica o pH. Asimismo, hemos fotografiado y digitalizado la vegetación de dicha ladera, de modo que disponemos de una valiosa información, puesto que sabemos de la existencia de correlación espacial entre la vegetación y las propiedades hidrodinámicas y geomorfológicas de la parcela. Tal correlación es la que buscamos expresar cuantitativamente.

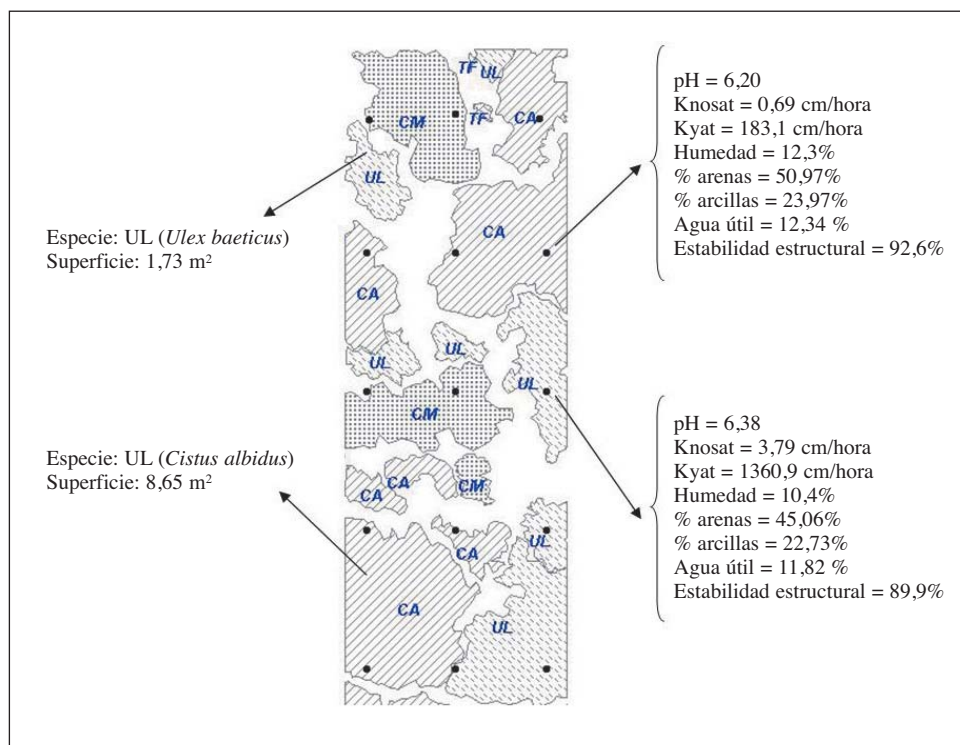
En un primer momento se marcaron la parcela y los puntos de muestreo, separados regularmente, mediante grandes clavos y pintura. De tales puntos de muestreo se obtuvieron muestras de suelo, con y sin estructura, que luego fueron analizadas en laboratorio hasta obtener cada una de las propiedades hidrodinámicas. La única propiedad no hidrodinámica, la pendiente, la hallamos a partir de un levantamiento topográfico de la ladera.

Asimismo, dicha parcela fue fotografiada, usando para ello una cámara digital situada sobre una estructura metálica a 4,50 metros de altura, obteniendo, de este modo, fotografías de alta resolución idóneas para llevar a cabo su fotointerpretación y digitalización.

La fotointerpretación de las imágenes fue realizada atendiendo a la especie de cada individuo de vegetación, y se rectificaron y digitalizaron mediante *software* CAD. Esta digitalización se importó en ArcGis, donde fue completada la información de la tabla de datos con la inclusión de la superficie ocupada por cada registro o individuo de vegetación.

Una vez obtenido el mapa de vegetación, realizamos los mapas de cada una de las propiedades hidrodinámicas y geomorfológicas consideradas:

- pH (indicador de la acidez o basicidad del suelo).
- Conductividad hidráulica no saturada (capacidad del suelo para transferir agua por la zona no saturada).
- Conductividad hidráulica saturada (capacidad del suelo para transferir agua cuando está en estado saturado, con todo el sistema poroso lleno de agua).
- Agua útil (agua disponible para uso de las plantas).
- Textura: porcentaje de arcillas.
- Textura: porcentaje de arenas.
- Humedad del suelo.
- Estabilidad estructural: la resistencia a la rotura de los agregados del suelo que conforman la estructura edáfica.

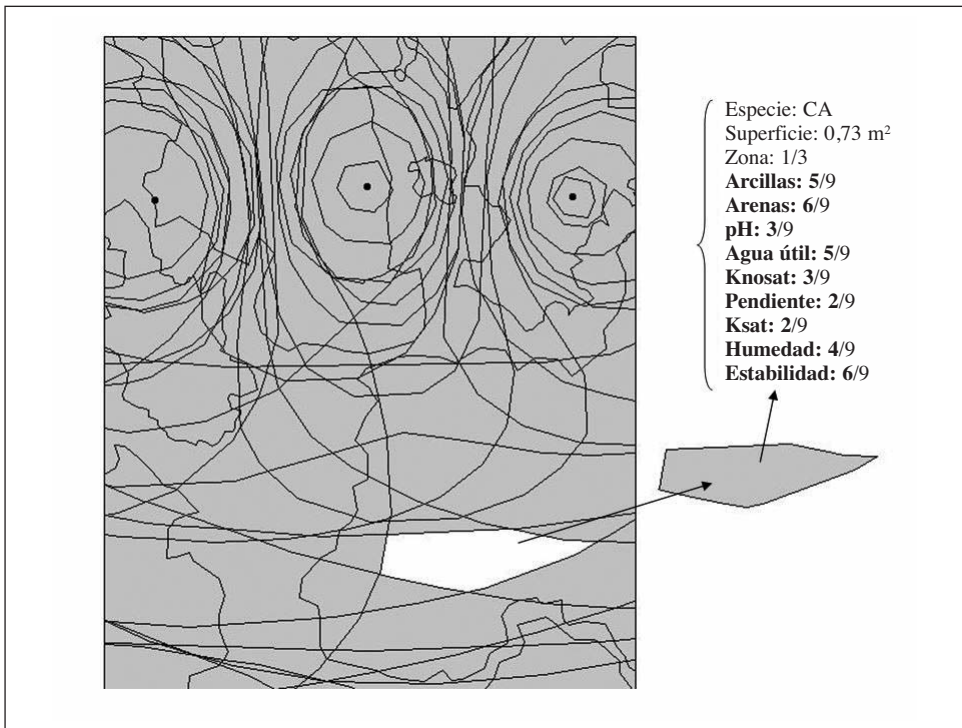


**Fig. 2.** Extracto del mapa de vegetación, con información de especie y superficie (capa 1) y la malla con los puntos de toma de datos, que contiene información de las propiedades (capa 2).

- Pendiente del terreno, obtenida a partir de un levantamiento topográfico de la parcela.

Tales mapas de propiedades los realizamos mediante la extensión “Spatial Analyst” de ArcGis. En primer lugar, elaboramos una malla de puntos, coincidente espacialmente con los puntos de toma de muestras. En Excel realizamos la tabla de datos con los valores de cada propiedad en cada punto, y luego unimos (“join”) la tabla de datos de la malla y esta tabla exportada de Excel.

Para cada una de las propiedades, interpolamos el valor de los distintos puntos para la totalidad de la superficie, reclasificando posteriormente en nueve intervalos, obteniendo de tal modo una graduación de la mayor o menor representación de cada propiedad en la parcela (véase fig. 10).



**Fig. 3.** Extracto del mapa resultante de los cruces, con valores homogéneos. Las variables en negrita son las propiedades, y cada valor es la clasificación de 1 a 9 en función de la mayor o menor representatividad de esa variable en ese registro.



El siguiente paso fue unir en un solo archivo de formas todas las propiedades, y unir asimismo este archivo con el mapa de vegetación. Dicha unión se realizó con la orden “union” de Geoprocessing Wizard (“Tools”) de manera individual capa a capa hasta tenerlas todas en el mismo fichero de formas. Como resultado, obtenemos un cruce de polígonos donde cada registro es absolutamente homogéneo, esto es, tiene las mismas características de tipo de vegetación, y de todas y cada una de las propiedades.

Hasta aquí llega el tratamiento mediante SIG, pasando a continuación al tratamiento estadístico, para lo cual usamos Access, que nos permitió extraer consultas con el porcentaje de superficie para cada intervalo de una determinada propiedad y especie (tabla 1).

**Tabla 1.** Ejemplo consulta-resumen para la variable “agua útil” y las especies *Cistus albidus* (CA) y *Cistus monspeliensis* (CM).

Especie	Intervalo (representatividad de esa propiedad)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Porcentaje	Histograma de frecuencias
CA	Total	34,92	100,00	<p>Pendiente de la línea de regresión: 2,75</p>
	1	–	–	
	2	–	–	
	3	3,08	8,82	
	4	4,01	11,48	
	5	3,78	10,82	
	6	1,21	3,47	
	7	2,75	7,88	
	8	19,20	54,98	
	9	0,89	2,55	
CM	Total	14,79	100,00	<p>Pendiente de la línea de regresión: 1,94</p>
	1	–	–	
	2	–	–	
	3	4,97	33,60	
	4	–	–	
	5	–	–	
	6	–	–	
	7	2,29	15,48	
	8	7,53	50,91	
	9	–	–	

Con este porcentaje de representatividad de cada intervalo podemos realizar el *histograma de frecuencias* para cada especie y propiedad determinada (fig. 4).

Así, a raíz del histograma de frecuencias, obtenemos una representación gráfica de la correlación que existe entre esa propiedad y esa especie determinada. Esto es, para propiedades y especies altamente relacionadas, los valores altos (próximos a 9) del histograma tendrán mayor representación. Asimismo, para propiedades y especies relacionadas de manera inversa (es decir, especies que aparecen donde hay valores bajos de esa propiedad), los valores más representativos del histograma serán los bajos, o próximos a 1.

Esto se puede cuantificar realizando la *línea de tendencia o de regresión* de ese histograma, y hallando seguidamente la *pendiente* de esta línea de tendencia (fig. 5). De tal modo, el signo y el valor de la pendiente indica la mayor o menor relación existente entre una determinada propiedad y una determinada especie.

Así, una *pendiente positiva* indica una correlación positiva entre la propiedad y la especie. Es decir, esa especie aparece preferentemente donde encontramos mayor representación de esa propiedad. Cuanto más alto sea el valor de la pendiente, más acusada es la correlación (fig. 6), y de modo

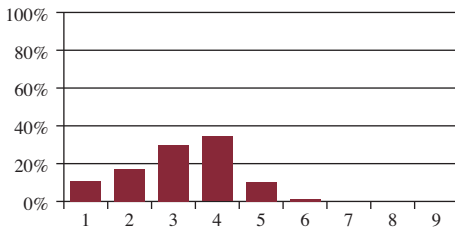


Fig. 4.

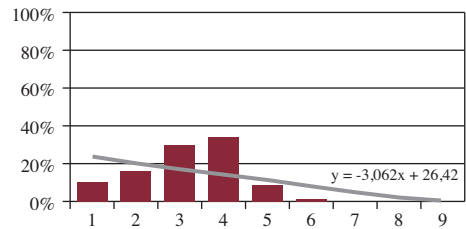


Fig. 5.

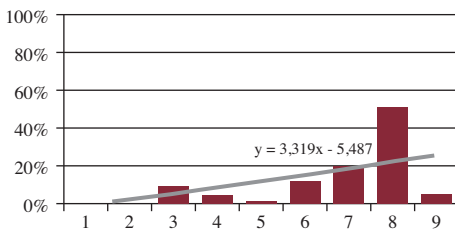


Fig. 6.

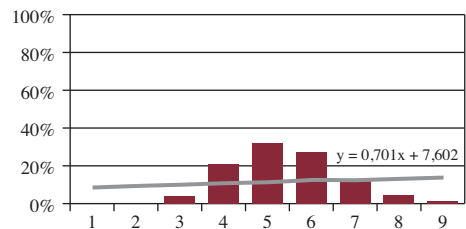
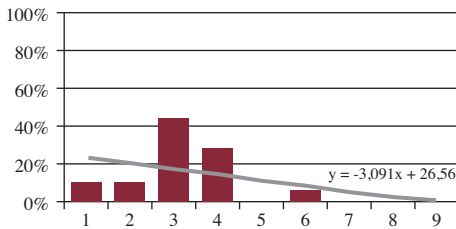


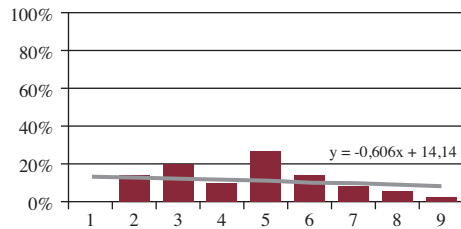
Fig. 7.

análogo, un valor próximo a cero indica una correlación muy baja o inexistente (fig. 7).

Por otro lado, una *pendiente negativa* nos muestra una correlación negativa entre la propiedad del suelo y la especie, esto es, que esa especie aparece preferentemente donde los valores de esa propiedad son bajos. De igual modo, una pendiente negativa alta indica una correlación negativa alta (fig. 8), y una pendiente negativa próxima a cero indica una correlación muy débil o inexistente (fig. 9).



**Fig. 8.**



**Fig. 9.**

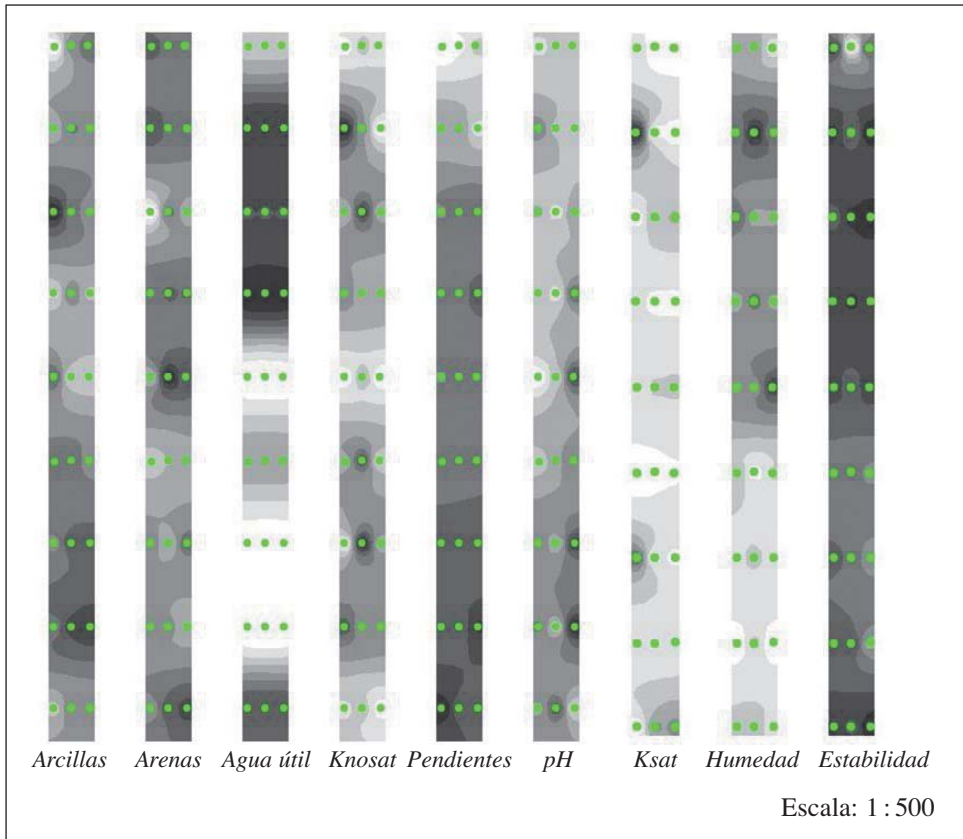
La relación existente entre la pendiente de los histogramas de frecuencia y la aparición de las diferentes especies quedaría resumida en la tabla II.

**Tabla II.** Resumen de valores posibles para la pendiente.

<i>Pendiente positiva alta</i>	<i>Pendiente positiva baja</i>	<i>Pendiente próxima a cero</i>	<i>Pendiente negativa baja</i>	<i>Pendiente negativa alta</i>
A mayor representación de esa propiedad existe mayor tendencia a la aparición de esa especie		La correlación entre esa propiedad y esa especie es baja o irrelevante		A menor representación de esa propiedad existe mayor tendencia a la aparición de esa especie

**RESULTADOS**

El análisis fue establecido en dos etapas. Una primera, en la que comparamos todos los mapas elaborados (pendiente, pH, conductividad hidráulica no saturada, conductividad hidráulica saturada, estabilidad estructural, humedad, agua útil, contenido en arcillas y contenido en arenas) con el de la vegetación real, con el fin de establecer una primera aproximación sobre la relación existente entre estas características del suelo en nuestra parcela de



**Fig. 10.** Representación gradual de cada propiedad (los diferentes tonos de grises se corresponden con los nueve intervalos citados). Los puntos amarillos son los puntos de toma de datos.

estudio y las diferentes especies que están presentes en ella. Seguidamente, hemos desarrollado el análisis estadístico, utilizando herramientas informáticas, tal como hemos explicado en el apartado anterior, para obtener unos resultados más pormenorizados y cuantificados de aquellos.

Así, al hacer el análisis espacial comparativo de los diferentes mapas, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Existe una relación directa entre la pendiente y la vegetación, de tal modo que el tramo superior de la ladera, donde la pendiente es menor, encontramos un predominio de *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*

y *Ulex baeticus*. En el tramo medio, con una pendiente media, el terreno es colonizado por la *Genista umbellata* y la vegetación terófito, predominando la primera, y es ya en el tramo inferior, que coincide con una mayor pendiente, donde predominan las terófitas frente a la *Genista umbellata*, con menor presencia. También aparece en este tramo la *Retama sphaeocarpa*.

- Con respecto al pH, podemos encontrar una correlación similar al caso anterior, aunque no de forma tan clara. Así, en el tramo superior, con un pH inferior, predominan el *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Phlomis purpura* y *Ulex baeticus*. En el tramo medio, aparece en mayor grado la *Genista umbellata*, y en el tramo inferior, de mayor pH, las terófitas.
- Analizando la conductividad hidráulica no saturada, podemos encontrar una relación inversa a las anteriores, de tal modo que en aquellos lugares de menor valor predomina la vegetación terófito y la retama, encontrando el resto de especies en los tramos de valores medios y altos de conductividad hidráulica no saturada.
- Un resultado similar obtenemos del análisis de la conductividad hidráulica saturada, apareciendo los mayores valores en el tercio superior de la parcela, donde existe una mayor densidad vegetal, especialmente de individuos de *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis* y *Ulex baeticus*.
- Con respecto a la estabilidad estructural, existe una relación directa entre esta y la vegetación, coincidiendo con la mitad superior de la parcela las zonas de mayor estabilidad, y dentro de esta, la parte central. Así, en este tramo superior, predominan el *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Genista umbellata*, *Phlomis purpura* y *Ulex baeticus*.
- La zona de mayor humedad también coincide con la mitad superior de la parcela experimental, si bien en este caso las zonas de mayor humedad se encuentran en el tercio superior e inferior de la misma.
- En relación con el agua útil, también podemos ver una relación muy clara, de tal forma que las zonas de menor agua útil corresponden con la vegetación terófito; la *Genista umbellata* aparece tanto en zonas de agua útil alta como media, presentándose el *Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Phlomis purpura* y *Ulex baeticus* en las zonas de mayor valor.

- Existe una relación negativa entre los contenidos de arcilla y arena en las distintas zonas de la parcela de estudio, es decir, que las zonas de menor contenido en arcillas son las zonas de mayor contenido en arenas, y viceversa. Es difícil marcar a simple vista una relación entre esta cualidad y la presencia de las especies vegetales analizadas.

Tras esta primera aproximación podemos afirmar que, si bien no podemos establecer *a priori* y en detalle el grado de relación entre las diferentes características estudiadas y las diferentes especies vegetales existentes en la parcela experimental, sí que podemos hacer notar una marcada diferenciación entre las especies terófitas y las que no lo son, de tal modo que las primeras aprovechan los suelos de mayor pendiente y pH, y de menor conductividad hidráulica saturada y no saturada, humedad, estabilidad estructural de los suelos y agua útil, frente a las especies no terófitas, que parecen colonizar los suelos que ofrecen mejores condiciones. Es necesario, sin embargo, la utilización de las herramientas informáticas para conseguir un análisis más detallado de la cuestión. Aplicada la metodología expuesta en el apartado anterior, hemos obtenido una serie de gráficos donde aparece el porcentaje de superficie ocupada por cada una de las especies estudiadas (*Cistus albidus*, *Cistus monspeliensis*, *Genista umbellata*, *Inula hirsuta*, *Lavandula stoechas*, *Phlomis purpurea*, *Retama sphaerocarpa*, *Ulex baeticus* y vegetación terófito) para cada uno de los intervalos en los que hemos dividido las propiedades ecológicas estudiadas (pendiente, pH, conductividad hidráulica saturada y no saturada, estabilidad estructural, humedad, agua útil y porcentaje en el suelo de arcillas y arenas). Como ya indicamos, para cada gráfico se ha hallado la pendiente de correlación entre cada propiedad y cada especie, elaborando una tabla (tabla III) como resumen de dichas correlaciones.

Haciendo un análisis de dicha tabla, podemos llegar a las siguientes conclusiones:

- Con respecto a las pendientes, las especies que muestran una mayor correlación positiva con respecto a esta propiedad son *Retama sphaerocarpa* e *Inula hirsuta*, seguidas de la vegetación terófito y *Genista umbellata*, mientras *Ulex baeticus* y *Cistus monspeliensis* muestran una correlación negativa.

**Tabla m.** Correlaciones entre propiedades y especies vegetales.

	Agua útil	Knosat	pH	Arenas	Arcillas	Pendientes	Humedad	Ksat	Estabilidad
CA	2,75	-0,60	-2,72	0,70	0,82	-1,71	0,41	-3,68	3,57
CM	1,94	-1,77	-2,99	1,19	-0,48	-2,56	0,09	-4,06	2,65
GN	-0,78	-1,33	-1,38	0,00	0,43	2,15	-2,16	-4,83	3,32
IN	-5,67	-0,03	1,31	-0,58	3,08	3,37	-4,57	-4,86	2,09
LU	4,51	-0,24	-2,72	0,04	0,64	0,98	0,45	-3,42	5,25
PH	6,06	-0,58	-3,24	1,04	-1,05	1,67	-0,07	-5,03	5,01
RE	-1,68	-2,16	0,46	1,02	1,76	3,86	-5,03	-3,50	3,64
TF	-3,15	-1,80	-0,77	0,71	0,80	2,73	-2,79	-4,76	3,36
UL	3,33	-3,07	-3,20	1,50	-0,55	-3,09	0,97	-4,70	4,41

CA = *Cistus albidus*, CM = *Cistus monspeliensis*, GN = *Genista umbellata*, IN = *Inula hirsuta*, LU = *Lavandula stoechas*, PH = *Phlomis purpurea*, RE = *Retama sphaerocarpa*, TF = *Vegetación terófito*, UL = *Ulex baeticus*.

- Atendiendo al pH, es marcada la correlación negativa con esta propiedad para *Phlomis purpurea*, *Ulex baeticus*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus albidus* y *Lavandula stoechas*. Todas ellas son especies que parecen preferir suelos de pH medio o medio-bajo.
- Existe una correlación negativa muy marcada entre la humedad del suelo y cuatro tipos de vegetación: *Retama sphaerocarpa*, en primer lugar, seguida por *Inula hirsuta*, las plantas terófitas y *Genista umbellata*.
- Con respecto al agua útil existe una correlación positiva muy marcada entre esta propiedad y las especies de *Phlomis purpurea* y *Lavandula stoechas*, en primer lugar, y *Ulex baeticus* y *Cistus albidus* después. *Inula hirsuta* y la vegetación terófito presentan una correlación negativa.
- Atendiendo a la estabilidad estructural, existe una fuerte correlación positiva entre todas las especies presentes y dicha cualidad, destacando *Lavandula stoechas*, *Phlomis purpurea* y *Ulex baeticus*.
- En función de la conductividad hidráulica no saturada, todas las especies muestran una correlación negativa, teniendo un valor más marcado en dos de ellas: *Retama sphaerocarpa* y *Ulex baeticus*.

- La situación con respecto a la conductividad saturada es similar, si bien el valor negativo más extremo lo presenta *Phlomis purpurea*, seguido por *Inula hirsuta*, *Genista umbellata*, las especies terófitas o *Ulex baeticus*.
- Con respecto al contenido en arcillas y arenas, en ningún caso se aprecia un grado de correlación llamativo.

## CONCLUSIONES

Hemos podido comprobar la utilidad de las herramientas informáticas relacionadas con el análisis espacial de las condiciones ecológicas del territorio con respecto a la vegetación. Los sistemas de información geográfica, junto con la posibilidad de manejar toda la información pareja en bases de datos, así como su tratamiento estadístico, ofrecen un amplio abanico de posibilidades a la hora de analizar los patrones de vegetación y su respuesta a las características del medio.

Permiten, por tanto, analizar con mayor profundidad y de manera automatizada, relaciones de difícil análisis visual, si bien, en contrapartida, exigen una importante exhaustividad a la hora de registrar los datos a analizar, tanto sobre las especies vegetales como sobre las condiciones ecológicas. Esa exhaustividad en los datos debe mantenerse a dos niveles, tanto a nivel cualitativo, es decir, que los datos sean correctamente registrados y medidos, como cuantitativo, o lo que es lo mismo, que sean tomados en la adecuada cantidad espacio-temporal como para que los resultados finales sean significativos. Todo ello supone, sin duda alguna, un destacado esfuerzo, de tal manera que una carencia en algunos de estos aspectos limitaría los resultados del análisis global.

Otro aspecto fundamental, y que no hemos tratado en este artículo, sería la finalidad del desarrollo de este tipo de análisis en la práctica geográfica. En función de las necesidades concretas del estudio, así como de la escala de trabajo, se escogerían unos datos ambientales u otros, así como una u otra forma de registrar la vegetación (por individuos, por tesselas, por asociaciones, por comunidades fitosociológicas, etcétera), lo que nos llevaría a un análisis determinado de relación de la vegetación con las condiciones ecológicas del medio, y que puede ser aplicado a diferentes



campos de estudio: determinación de las exigencias ecológicas de las especies vegetales para su posible utilización en programas de revegetación o reforestación, análisis de las condiciones de ubicación para especies endémicas, relación de especies vegetales con ciertas características de degradación del suelo en procesos de contaminación o erosión, etcétera, o bien, si utilizamos datos recogidos en una progresión temporal, analizar la dinámica de la vegetación con respecto a la evolución espacio-temporal de las condiciones ecológicas, como, por ejemplo, analizar la dinámica de retroceso de las especies en procesos de desertificación. Esta metodología tiene, por tanto, un valor especial para diferentes aspectos de la planificación territorial medioambiental, pudiendo servir como instrumento de apoyo para la toma de decisiones.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBANCHO, A. G. (1997). *Estadística elemental moderna*. Ariel. Barcelona.
- Guía para la elaboración de estudios del medio físico* (1995). Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- NIETO CALDERA, J. M., B. CABEZUDO, A. V. PÉREZ LATORRE, D. NAVAS, P. MAVAS y Y. GIL (1998). Apuntes para el estudio del paisaje vegetal de la provincia de Málaga. En *Itinerarios por espacios naturales de la provincia de Málaga*. SPICUM. Málaga.
- PEDRAZA GILSANZ, J., y cols. (1996). *Geomorfología, principios, métodos y aplicaciones*. Rueda. Madrid.
- PORTA, J., M. LÓPEZ-ACEVEDO y C. ROQUERO (1994). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid.
- RUIZ SINOGA, J. D., A. GALLEGOS REINA, J. J. DELGADO PEÑA, M. J. NOGUERA ROBLES, A. ROMERO LOPERA, J. MÁRQUEZ CARRERO, B. LUCAS SANTAMARÍA y J. F. MARTÍNEZ MURILLO (2003). Variabilidad de los procesos de generación de escorrentía en laderas bajo condiciones mediterráneas. *Baética*, 25: 279-311.
- RUIZ SINOGA, J. D., y cols. (2002). Métodos para la estimación de la escorrentía en vertientes de litología no acuífera en ámbitos mediterráneos. *Baética*, 24: 149-192.