

Hernández-Cordero, A. I., Pérez-Chacón, E. y Hernández-Calvento, L. (2008): Aplicación de tecnologías de la información geográfica al estudio de la vegetación en sistemas de dunas litorales. Resultados preliminares en el campo de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). En: Hernández, L. y Parreño, J. M. (Eds.), *Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. Pp. 603-617. ISBN: 978-84-96971-53-0.

## **APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN GEOGRÁFICA AL ESTUDIO DE LA VEGETACIÓN EN SISTEMAS DE DUNAS LITORALES. RESULTADOS PRELIMINARES EN EL CAMPO DE DUNAS DE MASPALOMAS (GRAN CANARIA, ISLAS CANARIAS)**

*Hernández-Cordero, A. I., Pérez-Chacón, E. y Hernández-Calvento, L.*

Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente. Departamento de Geografía. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. C/ Pérez del Toro, 1 (35003) Las Palmas de Gran Canaria. [ahernandezc@becarios.ulpgc.es](mailto:ahernandezc@becarios.ulpgc.es)

### **RESUMEN**

*La utilización de Tecnologías de la Información Geográfica, siempre apoyada en el trabajo de campo, permite comprender los patrones de distribución de la vegetación en la totalidad de un área de estudio. En este trabajo se muestran los resultados preliminares del análisis de la relación existente entre el tipo de geoforma y la vegetación en el sistema de dunas de Maspalomas. Para ello se ha digitalizado en el entorno de un SIG la cartografía de las unidades de vegetación y la de las geoformas, utilizando como base ortofotos digitales. Posteriormente esta información se ha cruzado mediante técnicas de superposición. Los resultados obtenidos proporcionan información cuantificada y corroboran que, en un sistema de dunas, existe una estrecha relación entre la distribución de la vegetación y la de las geoformas.*

*Palabras Clave: Sistemas de Información Geográfica, ortofoto digital, geomorfología eólica, vegetación de dunas, Islas Canarias.*

### **ABSTRACT**

*The use of geographic information technology, supported by fieldwork, allows understand the patterns of distribution of vegetation in an entire area of study. This paper shows the preliminary results of the analysis of the relationship between the type of landform and vegetation in the dune system of Maspalomas. Vegetation and landforms units has been digitized within a GIS mapping, using digital orthophotos as a base. This information has been crossed through techniques of overlay. The results provide quantified information and corroborate that in a system of dunes, there is a close relationship between the distribution of vegetation and the landforms.*

*Key Words: Geographic Information System, digital orthophoto, aeolian geomorphology, dune vegetation, Canary Islands.*

### **INTRODUCCIÓN**

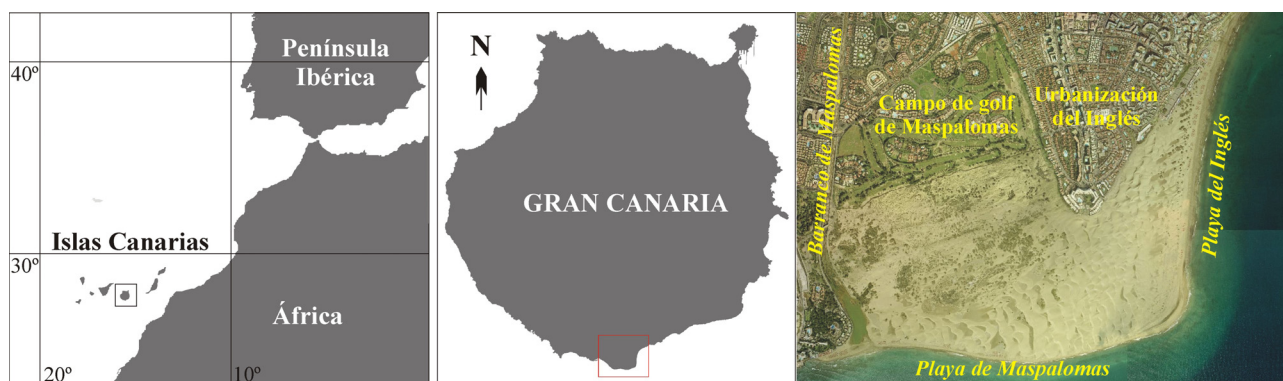
Las Tecnologías de la Información Geográfica (TIG) en general y, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) en particular, han sido utilizados para el estudio de la vegetación de diversos ecosistemas (Palmer y Van Staden, 1992; Franklin, 1995; Guisan et al, 1998). En España, aunque el uso de determinadas fuentes y herramientas integradas en las TIG (fotografías aéreas, ortofotos digitales, imágenes satélites, GPS, etc.) ha sido muy frecuente en este tipo de estudios, no sucede lo mismo con los análisis de la vegetación a través de Sistemas de Información Geográfica, donde las aportaciones son todavía reducidas (Gonzalo et al, 2001; Bermejo, 2002; Fernández et al, 2004). De igual forma, son también escasos los trabajos que analizan la vegetación de los campos de dunas litorales mediante SIG (Shanmugam y Barnsley, 2002; Hernández-Cordero et al, 2006).

Los sistemas de dunas litorales presentan una serie de peculiaridades que los diferencian de otros ecosistemas. Una de las más significativas es precisamente la movilidad de los materiales y de algunas geoformas, así

como los reducidos intervalos temporales en los que se producen los cambios. Estos aspectos inciden de forma dialéctica con la vegetación, de tal forma que la colonización vegetal está muy condicionada por la movilidad de los sedimentos; pero, a su vez, la dinámica sedimentaria lo está por la presencia de especies vegetales. En este contexto, el objetivo de este trabajo es analizar la relación que existe entre las geoformas, consideradas como un indicador de la existencia de procesos eólicos activos, y la distribución de la vegetación en el sistema de dunas de Maspalomas, utilizando para ello Tecnologías de la Información Geográfica. Esta aproximación se enmarca en una investigación interdisciplinar más amplia, realizada con el objetivo de conocer las alteraciones ambientales inducidas por la actividad turística en el litoral, que se desarrolla en el marco del proyecto “Consecuencias ambientales inducidas por el desarrollo turístico en espacios insulares: alteraciones de los procesos naturales en sistemas de dunas litorales de Canarias y Cabo Verde” (SEJ2007-64959), financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia y fondos FEDER dentro del Plan Nacional de I + D + i.

## ZONA DE ESTUDIO

El campo de dunas de Maspalomas, con una extensión de 360,9 ha, está situado en el extremo sur de la isla de Gran Canaria, en el municipio de San Bartolomé de Tirajana. Limita al norte con el campo de golf de Maspalomas y la urbanización Playa del Inglés, al oeste con el barranco de Maspalomas, que forma en su desembocadura una laguna litoral (la Charca de Maspalomas), y al este y el sur con el mar, a través de una playa continua que recibe distintas denominaciones: playas del Inglés (al este), playa de Maspalomas (al sur) y punta de la Bajeta (en su vértice suroriental) (figura 1). Estas dos playas mencionadas constituyen las áreas de entrada y salida de sedimentos eólicos, respectivamente. Atendiendo a la definición establecida por Hesp y Thom (1990), se trata de un campo de dunas transgresivo, caracterizado por la presencia de dunas que se desplazan de su posición original, o que lo han hecho en un pasado reciente. En ello se diferencian de los sistemas progradantes, donde predominan las dunas posicionales que, aún manteniendo procesos eólicos activos, no se desplazan (Vallejo, 2007).



**Figura 1.** Localización y vista general del área de estudio

El clima de Maspalomas es cálido y seco. Las precipitaciones medias anuales son de 76,2 mm, mientras que la temperatura media anual es de 23,6°C. La característica principal del régimen pluviométrico, al igual que en el resto de Canarias, es la enorme irregularidad anual e interanual de las precipitaciones, así como su torrencialidad. El viento, que constituye uno de los elementos climáticos determinantes en el funcionamiento del sistema de dunas, pues condiciona la movilidad de las dunas, presenta dos direcciones principales (Pérez-Chacón et al, 2007): i) por un lado, las componentes OSO, O y NO, que representan el 36,2 % de las frecuencias anuales, y ii) por otro, las NE, ENE y E, que suponen el 28,8 %. Estas direcciones se alternan en función de la estación del año, de modo que las componentes OSO, O y NO, predominan entre mayo y octubre, mientras que los NE, ENE y E son más frecuentes entre noviembre y febrero, estableciéndose un equilibrio en los meses de abril y octubre. Los vientos efectivos (superiores a los 5,1 m/s), con capacidad para movilizar el sedimento arenoso, predominan durante el invierno (Hernández Calvento, 2006). Un 54,5 % de los mismos presentan una compo-

nente NE, ENE y E, lo que explica que el movimiento de las dunas se produzca en ese sentido, y principalmente durante el invierno.

La vegetación está constituida por comunidades halófilas y psamófilas, xerófilas e higrófilas (Hernández-Cordero et al, 2006). En la actualidad, una parte de este sistema, la menos alterada por la actividad humana, está protegida por la legislación vigente mediante la figura de Reserva Natural Especial.

Fueron precisamente los valores naturales de este espacio, especialmente sus playas y su elevado número de días despejados al año, los que incentivaron el desarrollo turístico de la zona. Éste se inicia hacia la década de los sesenta del siglo XX, y en la actualidad ha dado lugar a uno de los principales núcleos turísticos de Canarias. Según datos procedentes de la Consejería de Turismo y Transporte del Gobierno de Canarias, en 2000 el número total de camas turísticas en esta zona era de 100.690, cifra que equivale al 71% de las plazas existentes en la isla de Gran Canaria, y al 28,9% de la totalidad del archipiélago (Parreño, 2001). El coste ambiental de este proceso ha sido alto, pues, entre otros aspectos, la dinámica eólica ha sido alterada por las edificaciones, y la entrada de sedimentos al interior de sistema es cada vez más reducida. Maspalomas experimenta en la actualidad un déficit sedimentario, y el avance de la vegetación en el interior del sistema contribuye, aún más, a estabilizar los sedimentos. De ahí el interés que presenta conocer cómo se distribuye la vegetación y qué relación guarda con la dinámica eólica.

## **METODOLOGÍA**

El objetivo del presente trabajo es determinar la relación existente entre la distribución de la vegetación y las geoformas. Teniendo en cuenta la importancia de la dimensión espacial en este análisis, se ha recurrido a la utilización de Tecnologías de la Información Geográfica. El procedimiento seguido, basado en un modelo de datos vectorial, se estructura en las siguientes etapas: i) definición y digitalización de las unidades de vegetación, caracterizándolas a partir de la comunidad vegetal dominante en la actualidad; ii) definición y digitalización de las geoformas y iii) análisis espacial de las relaciones entre la vegetación y las geoformas.

### **Definición y digitalización de las unidades de vegetación**

Para caracterizar la vegetación se ha comenzado por la delimitación y definición de unidades homogéneas. Para ello se han utilizado los siguientes documentos: ortofoto digital del año 2003 a escala 1:5.000 y, como documentos de apoyo, fotografías aéreas a escala 1:8.000 del año 2000 y la ortofoto digital oficial de GRAFCAN-Gobierno de Canarias del año 2002, a escala 1:5.000. En primer lugar, se han fotointerpretado los documentos aéreos, delimitándose unidades de vegetación homogéneas diferenciadas a partir de la forma, color, tamaño, densidad, textura y pautas de distribución espacial. Posteriormente, a través de trabajo de campo, se han verificado los límites de las unidades delimitadas y se han caracterizado mediante inventarios de vegetación. Una vez corregidas, las unidades fueron digitalizadas sobre la ortofoto del año 2003 mediante el programa ArcGis 9.1. Cada unidad homogénea fue adscrita a una determinada comunidad vegetal, para lo cual, en primer lugar, se determinó el estrato por biotipo con mayor peso específico y, en segundo lugar, se identificó la especie o especies dominantes del mismo, que fueron posteriormente utilizadas para denominar a la comunidad vegetal. Finalmente, con los resultados se ha elaborado el mapa de vegetación del año 2003 a escala 1:5.000 (figura 2). En aquellos casos en los que varios estratos tenían una importancia similar, se consideró el superior para denominar la unidad.

### **Definición y digitalización de las geoformas**

Considerando toda el área de estudio, y mediante el citado programa, sobre la ortofoto digital del año 2003 se digitalizaron diferentes unidades en función de la actividad eólica que presentaban. Para ello se utilizaron los siguientes criterios:

- Evidencias de procesos eólicos activos: para su identificación se han utilizado tanto las ortofotos digitales como el trabajo de campo. En las imágenes se ha considerado, por un lado, el tipo de geoforma existente, ya que

la presencia de determinadas formas indica la existencia de procesos eólicos activos, como sucede con las dunas libres, las dunas condicionadas por la vegetación y la formación de superficies de deflación, entre otros. Por otro lado, se han comparado diferentes ortofotos recientes (años 1995, 1998, 2002 y 2003) en el entorno del SIG, para determinar el desplazamiento de las dunas, así como para detectar la formación o ampliación reciente de las superficies de deflación. Por lo que respecta al trabajo de campo se ha considerado la presencia de microgeoformas, como rizaduras (*ripples*), o de otros indicios de la existencia de procesos eólicos activos, como la deposición de arena y la deflación a escala de detalle, la exhumación de raíces, la formación de pequeñas dunas, los cambios en la orientación de las crestas y bordes de las dunas, las variaciones en el volumen de arena y el afloramiento de sustratos subyacentes, para lo cual se han utilizado referencias fijas naturales o artificiales (plantas, balizas de los senderos, etc.).

- Aportes de sedimentos: un aspecto que se ha considerado muy importante es la existencia de un aporte continuo de arena hacia las áreas adyacentes. Esto se ha determinado en función de las siguientes variables: existencia de una continua sucesión de dunas de una tipología o varias tipologías determinadas y la presencia de obstáculos (vegetación, infraestructuras humanas, etc.) que interrumpan o reduzcan el tránsito de arena. Esto último permite detectar si determinadas zonas se han quedado aisladas, de tal forma que ya no reciben aportes de sedimentos externos y, en consecuencia, la movilidad actual responde a la simple removilización de los sedimentos depositados con anterioridad.

Las unidades definidas en función de los procesos eólicos constituyen el marco de referencia espacial a partir del cual delimitar las diferentes geoformas existentes en cada una de ellas. Por una parte se han diferenciado las geoformas acumulativas, como, por ejemplo, las dunas; y, por otra, las erosivas, como las depresiones interdunares y las superficies de deflación, entre otras. A su vez, los diferentes tipos de dunas se ha agrupado en dos clases principales: dunas libres y dunas condicionadas por la vegetación.

### **Análisis espacial y cuantificación de las relaciones entre la vegetación y las geoformas**

La metodología sustentada en el SIG se basa en el cruce (*overlay*) del mapa de vegetación del año 2003 con el de geoformas. Para ello se ha utilizado la herramienta *union* (geoprocesamiento) contenida en la aplicación ArcToolbox del programa ArcGis 9.1. Este procedimiento consiste en un proceso de análisis espacial, que supone la obtención de información nueva a partir del cruce de las capas vectoriales. La superficie de cada comunidad que se asocia al tipo de geoforma específica se interpreta como un indicador de la vinculación entre ambos, de modo que cuanto más superficie se relacione con una determinada categoría, se considera que la comunidad vegetal tiene preferencia por desarrollarse en la misma, o que es capaz de tolerar esas condiciones ambientales.

## **RESULTADOS**

### **Unidades de vegetación**

Se han definido y cartografiado 530 unidades de vegetación, que han sido agrupadas en 19 tipos de comunidades vegetales diferentes (figura 2; tabla 1). La totalidad de la zona ocupada por la vegetación es de 125,1 ha, lo que representa el 34,7 % del área de estudio. La comunidad vegetal que ocupa una extensión mayor es la de *Cyperus capitatus-Ononis serrata*, con 65,04 ha y 64 unidades de vegetación; en contrapartida, la que se localiza en una superficie menor es la de *Salsola kali*, con 0,06 ha y 3 unidades de vegetación.

A continuación se describirán de forma breve las comunidades vegetales más destacadas:

- *Traganum moquinii*: comunidad vegetal típica de la zona litoral de los arenales y campos de dunas de Canarias. En Maspalomas se localiza principalmente en la zona de entrada de arenas al sistema, la playa del Inglés. Se trata de una comunidad arbustiva monoespecífica integrada principalmente por la especie *Traganum moquinii*.
- *Cyperus laevigatus*: vegetación herbácea que se desarrolla fundamentalmente en la zona sur del sistema de dunas, cerca de la línea de costa. Está integrada principalmente por el géofito que define la

comunidad, aunque también pueden estar presentes otras especies, como *Juncus acutus*, *Suaeda mollis* y *Tamarix canariensis*.

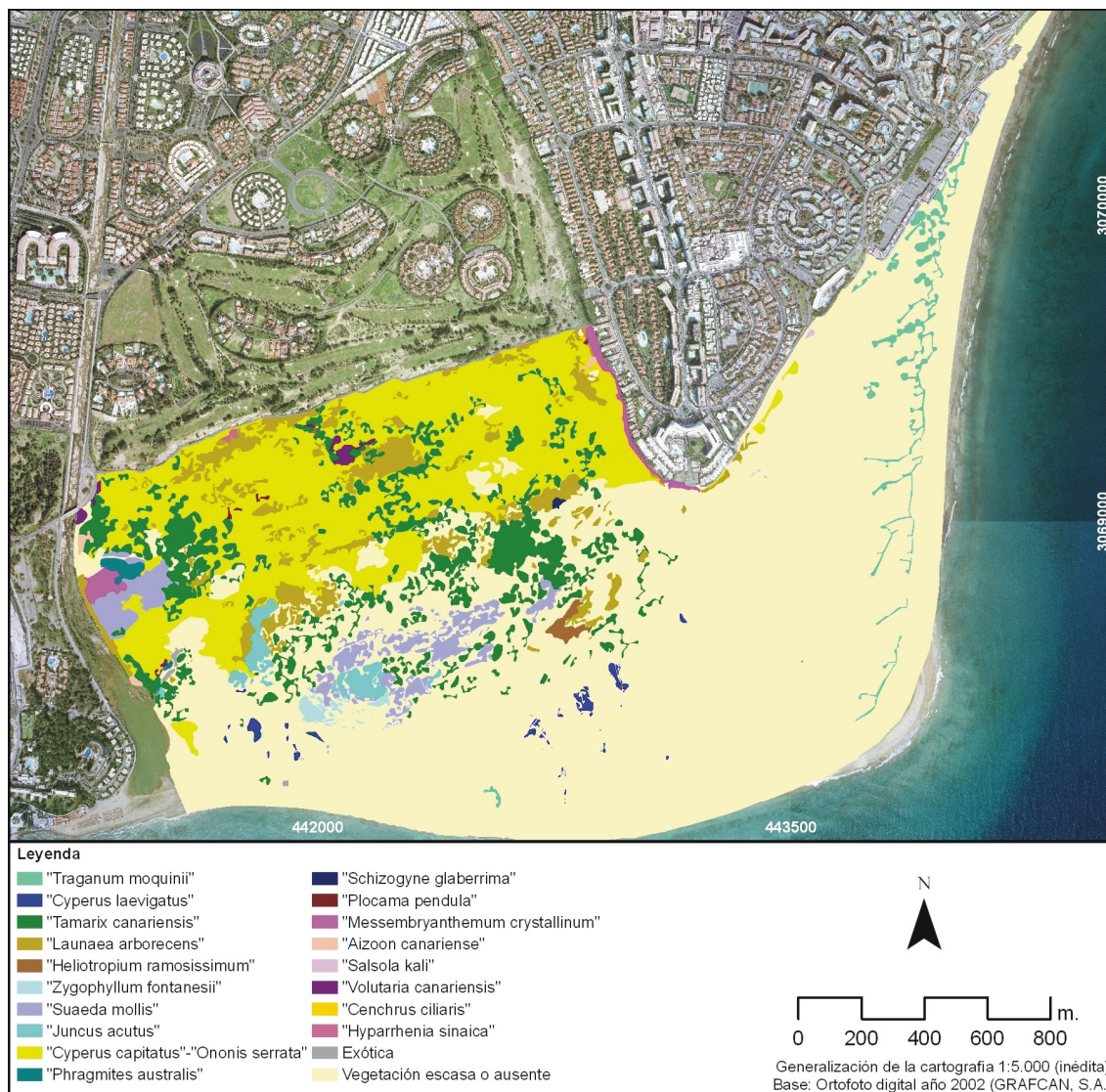
- *Tamarix canariensis*: comunidad de porte arbóreo dominada por una de las pocas especies de macrofanerófitos existentes en el sistema de dunas de Maspalomas. Se extiende por la mayor parte del área de estudio.
- *Launaea arborecens*: matorral espinoso muy extendido por la mayor parte del campo de dunas. Dependiendo de las condiciones ambientales, el cortejo florístico está integrado por diferentes especies, como *Cyperus capitatus*, *Heliotropium ramosissimum*, *Cenchrus ciliaris*, *Cynodon dactylon*, etc.
- *Heliotropium ramosissimum*: comunidad arbustiva de escaso porte, integrada por caméfitos y nanofanerófitos.
- *Suaeda mollis*: matorral halófilo de porte bajo que se localiza fundamentalmente en la zona central del sistema de dunas.
- *Zygophyllum fontanesii*: comunidad integrada por nanofanerófitos y caméfitos, donde aparte de la propia *Zygophyllum fontanesii*, destacan *Suaeda mollis*, *Tamarix canariensis* y *Frankenia capitata*.
- *Juncus acutus*: comunidad herbácea donde dominan los hemiscriptófitos. Se localiza principalmente en la zona central del campo de dunas y en los alrededores de la Charca de Maspalomas.
- *Cyperus capitatus-Ononis serrata*: vegetación herbácea de poca altura integrada por terófitos y geófitos, además de algunos nanofanerófitos. Se ubica fundamentalmente en el norte del sistema de dunas, donde forma extensas praderas.
- *Schizogyne glaberrima*: comunidad arbustiva escasamente representada, a la que también se encuentra asociada *Juncus acutus* y, en menor medida, *Launaea arborecens* y *Nicotiana glauca*.
- *Phragmites australis*: comunidad helofítica que se localiza principalmente en los alrededores de la Charca de Maspalomas.
- *Plocama pendula*: constituye una de las comunidades más escasas y localizadas. Es una formación arbustiva definida por la presencia de *Plocama pendula* sobre una matriz de la comunidad de *Cyperus capitatus-Ononis serrata*.

También se encuentra un conjunto de comunidades vegetales, principalmente ruderales o de sustitución, que tienen una localización periférica al campo de dunas. Es el caso de las comunidades de: *Mesembryanthemum crystallinum*, *Aizoon canariense*, *Salsola kali*, *Volutaria canariensis*, *Cenchrus ciliaris* e *Hyparrhenia sinaica*, además de la comunidad exótica que está constituida por plantaciones de especies introducidas.

Finalmente, las zonas con vegetación escasa o ausente engloban aquellas áreas donde la cobertura vegetal es muy poco significativa, existiendo únicamente ejemplares vegetales aislados, o es inexistente. También se incluye zonas con escasa cobertura vegetal, donde existe un mosaico de especies vegetales que no es posible incluir en los tipos de comunidades vegetales definidos anteriormente.

**Tabla 1.** Unidades de vegetación por comunidad vegetal: superficie ocupada en el campo de dunas de Maspalomas en 2003

Comunidad vegetal	Biotipo dominante	Nº unidades de vegetación	Superficie (ha)	% superficie con respecto al total del área de estudio	% superficie con respecto al área ocupada por la vegetación
<i>Cyperus capitatus-Ononis serrata</i>	Herbáceo (geófitos y terófitos)	64	65,04	18,02	52
<i>Tamarix canariensis</i>	Arbóreo (macrofanerófito)	162	23,8	6,6	19
<i>Launaea arborecens</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	99	14,6	4,1	11,7
<i>Suaeda mollis</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	34	7,9	2,2	6,3
<i>Traganum moquinii</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	8	3,4	0,9	2,7
<i>Juncus acutus</i>	Herbáceo (hemicriptófitos)	14	2,6	0,7	2,1
<i>Mesembryanthemum crystallinum</i>	Herbáceo (terófitos)	3	1,8	0,5	1,4
Exótica	Variable	4	1,1	0,3	0,9
<i>Cyperus laevigatus</i>	Herbáceo (geófitos)	92	1	0,3	0,8
<i>Zygophyllum fontanesii</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	24	0,9	0,2	0,7
<i>Volutaria canariensis</i>	Herbáceo (terófitos)	7	0,7	0,2	0,5
<i>Phragmites australis</i>	Herbáceo (hemicriptófito)	3	0,7	0,2	0,6
<i>Heliotropium ramosissimum</i>	Arbustivo (caméfito)	2	0,7	0,2	0,6
<i>Aizoon canariense</i>	Herbáceo (terófitos)	3	0,4	0,1	0,3
<i>Hyparrhenia sinaica</i>	Herbáceo (hemicriptófitos)	1	0,1	0,02	0,08
<i>Plocama pendula</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	3	0,09	0,02	0,07
<i>Schizogyne glaberrima</i>	Arbustivo (nanofanerófito)	1	0,09	0,02	0,07
<i>Cenchrus ciliaris</i>	Herbáceo (hemicriptófitos)	3	0,08	0,02	0,06
<i>Salsola kali</i>	Herbáceo (terófitos)	3	0,06	0,02	0,05
Subtotal	-	530	125,1	34,6	100
Vegetación escasa o ausente	-	23	235,8	65,4	-
Total	-	553	360,9	100	-



**Figura 2.** Comunidades vegetales del campo de dunas de Maspalomas (2003).

## Geoformas

Se han diferenciado tres zonas en función de la existencia de procesos eólicos activos: zona activa, zona en proceso de estabilización y zona estabilizada. Las unidades geomorfológicas identificadas dentro de estas unidades son un total de 173.

### - Características generales

La característica principal de la zona activa es que actualmente sigue recibiendo un aporte continuo de sedimentos, de tal forma que las dunas en tránsito son reemplazadas de forma constante por otras nuevas. Predominan las dunas libres, pero también están presentes otras condicionadas por la vegetación u obstáculos topográficos. La superficie ocupada por la vegetación es muy escasa, y ésta se presenta en forma de núcleos aislados. En definitiva, el sistema está constantemente en proceso de renovación por el aporte de nuevos sedimentos. Constituye un área continua, que se extiende desde la playa del Inglés, al este del área de estudio, hasta la Charca de Maspalomas, en el extremo oeste. Ocupa una superficie total de 208 ha, lo que equivale al 57,6 % del actual campo de dunas de Maspalomas.

La zona en proceso de estabilización no tiene continuidad espacial, pues la compone un conjunto de unidades aisladas entre sí. Ocupa principalmente la zona central del sistema de dunas, aunque algunas unidades se localizan en el sector norte, dentro de la zona estabilizada situada a sotavento de la urbanización Playa del Inglés. Son áreas en las que se ha reducido el aporte de sedimentos, de tal forma que incluso en algunas de ellas se ha interrumpido totalmente la alimentación. Ello se debe a la urbanización de la terraza alta del Inglés, cuyas edificaciones actúan como una pantalla eólica, alterando el flujo eólico, así como al aumento de la cobertura vegetal. Se diferencian dos procesos eólicos activos principales: i) por un lado, la erosión, que se materializa en la formación de amplias superficies de deflación y, ii) por otro, la acumulación de arena, que da lugar a la existencia de zonas móviles residuales. Estas últimas, en unos casos, aún continúan recibiendo aportes de sedimentos externos, pero de forma reducida, limitándose a las áreas contiguas a la zona activa que no poseen obstáculos significativos; mientras que en otros casos presentan una total desconexión de las áreas actuales de aportes de sedimentos. En este último caso, la movilidad que presentan las dunas es el resultado de la removilización de los sedimentos existentes. Ocupa una superficie de 48,7 ha lo que, a su vez, supone el 13,5 % del área de estudio.

La zona estabilizada se caracteriza por la ausencia de procesos eólicos activos, de tal forma que las dunas se encuentran casi totalmente fijadas por la vegetación, que se extiende prácticamente por toda su superficie. En la actualidad, gran parte de la zona estabilizada presenta un aspecto bastante plano, donde a veces resulta difícil identificar las geoformas dunares antiguas. No obstante, todavía se reconocen depresiones interdunares y antiguas dunas transversales. La zona estabilizada ocupa todo el norte del sistema de dunas, a sotavento de la terraza alta del Inglés, prolongándose en algunos sectores hacia la parte central del mismo. Tiene una superficie 104,2 ha, equivalente al 28,9 % del campo de dunas.

#### - Unidades geomorfológicas

Cada una de las zonas delimitadas en función de la actividad eólica del sistema se ha subdividido, a su vez, en diferentes unidades geomorfológicas, obteniéndose como resultado el mapa correspondiente (figura 3).

#### Unidades geomorfológicas de la zona activa

En la zona activa se han identificado seis unidades: playa, duna costera (*foredune*), dunas transgresivas bajas, dunas transgresivas altas, depresiones interdunares y superficies de deflación. Además de otras dos unidades de origen antrópico: talud con depósitos antrópicos y depósitos antrópicos cubiertos arena. A continuación se caracteriza cada una de estas unidades:

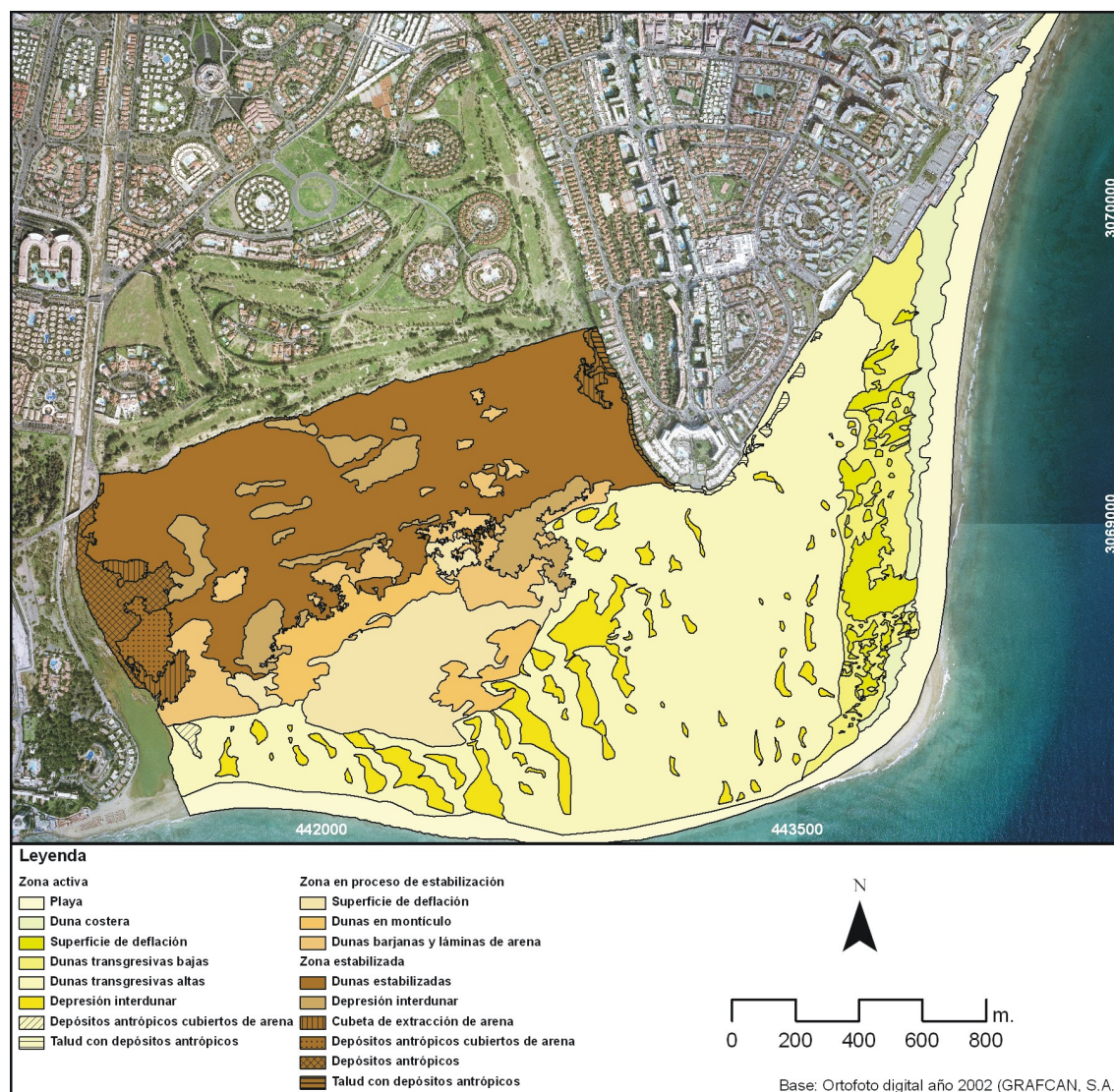
La zona activa posee dos playas: i) la playa del Inglés, con orientación N-S, que constituye la zona de entrada de sedimentos al sistema (Martínez, 1986); y ii) la playa de Maspalomas, que tiene una orientación E-O y constituye el área de salida de sedimentos. La delimitación entre la playa y el mar se ha realizado considerando la zona de arena seca, es decir, la playa alta. Hacia el interior, la playa queda delimitada por el contacto con las dunas.

La primera unidad que aparece tras la playa del Inglés es la duna costera. Ésta no forma un cordón continuo, sino que se trata de un conjunto de dunas aisladas en montículo (tipo *hummock*), formadas por ejemplares de *Traganum moquinii*. Detrás de la duna costera se originan dunas transgresivas bajas, formadas por dunas libres, principalmente barjanas, aunque también aparecen láminas de arena. Tanto unas como otras se desplazan estacionalmente por amplias superficies de deflación, donde aflora arena húmeda como consecuencia de la escasa profundidad a la que se encuentra la capa freática.

Tras estas unidades, se localizan las dunas transgresivas altas, donde los sedimentos se encuentran bien organizados en forma de cordones dunares, principalmente cordones barjanoides, aunque también transversales, con direcciones de desplazamiento predominantes E-O y NE-SO. Entre estos cordones se intercalan depresiones interdunares de dimensiones variables y duración temporal, en los que afloran los sustratos situados bajo las arenas móviles, como consecuencia de los procesos de deflación asociados al desplazamiento de las mismas. Asimismo, estas geoformas presentan un desplazamiento espacial vinculado al propio movimiento de los cordones de dunas (Nadal y Guitián, 1983), por lo que se pueden definir como depresiones interdunares móviles. En



aquellas zonas con menor aporte de sedimentos, como es el caso de las más cercanas a la terraza alta del Inglés, los cordones de dunas se desdibujan para pasar a convertirse en dunas barjanas y láminas de arena.



**Figura 3.** Unidades geomorfológicas del campo de dunas de Maspalomas (2003).

### Unidades geomorfológicas de la zona en proceso de estabilización

En la zona en proceso de estabilización se han diferenciado tres unidades geomorfológicas: dunas barjanas y láminas de arena, dunas en montículo (*hummock dune*) y superficies de deflación.

Las dunas barjanas y las láminas de arena son las geformas más activas, y están escasamente cubiertas por la vegetación. Aparecen de forma dispersa, careciendo de aportes sedimentarios externos.

Las dunas en montículo o *hummock* han sido originadas por ejemplares de *Tamarix canariensis* antiguos y de gran porte. La acción del viento sobre este tipo de dunas produce procesos erosivos, que dan lugar a dunas piramidales (*remnant knobs*). Se localizan en dos unidades situadas alrededor de la superficie de deflación central, la que está ubicada hacia el sur todavía recibe aportes de sedimentos procedentes de la zona activa.

Por su parte, las superficies de deflación se encuentran en la zona central del campo de dunas. Son geformas planas, resultado de la desaparición progresiva de las dunas por la dinámica sedimentaria eólica, sin que se

haya producido la llegada de nuevos depósitos sedimentarios, debido a la carencia de aportes de arena. En general, las que aparecen en Maspalomas corresponden a espacios donde la deflación eólica ha exhumado el sustrato infrayacente (depósitos aluviales, arena húmeda, etc.), y se deben a la interrupción del tránsito de sedimentos originada por las intervenciones turísticas o la disminución de la entrada de los mismos asociadas a un proceso natural de déficit sedimentario (Hernández Calvento, 2006). Sobre estas geoformas se desplazan algunas dunas barjanas y láminas de arena. En las superficies de deflación también se forman dunas en montículo, aunque en este caso de pequeño tamaño, generadas por la retención de los sedimentos en tránsito por parte de la vegetación, principalmente *Suaeda mollis*, *Zygophyllum fontanesii* y *Tamarix canariensis*.

#### Unidades geomorfológicas de la zona estabilizada

La zona estabilizada presenta seis unidades geomorfológicas: dunas estabilizadas, depresiones interdunares, talud con depósitos antrópicos, depósitos antrópicos cubiertos de arena y cubetas de extracción de arena. Las dunas estabilizadas están totalmente cubiertas por la vegetación. Presentan alturas diferentes en función del tipo original de duna. Las más bajas corresponden a antiguas dunas barjanas y láminas de arena, mientras que las altas fueron en origen cordones. Las depresiones interdunares son áreas deprimidas situadas entre las dunas. Las otras cuatro unidades son el resultado de la actividad humana, tratándose de zonas en las que se extrajo arena, se depositaron escombros o se removió el sustrato.

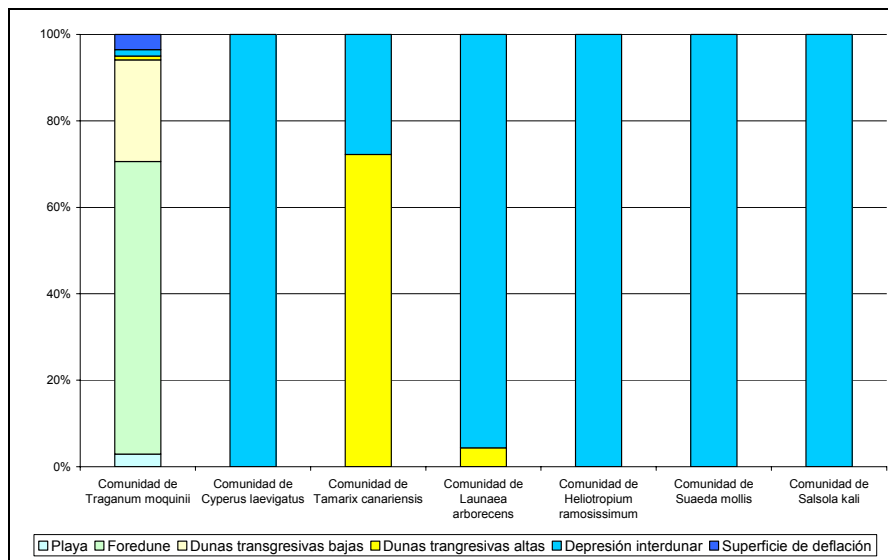
#### **Relación entre la vegetación y las geoformas**

Una vez definidas, caracterizadas y cartografiadas las unidades geomorfológicas, la capa de información resultante se ha relacionado con la distribución de las unidades de vegetación, con el fin de establecer la relación existente entre ambas variables. La superposición entre los dos mapas ha dado como resultado un mapa derivado donde se relacionan la vegetación y las geoformas. En el análisis no se han considerado ni las unidades geomorfológicas de origen antrópico, ni la vegetación exótica que se corresponde con plantaciones de especies introducidas (*Casuarina equisetifolia*, *Opuntia dillenii*, etc.), pues su distribución no está vinculada a la dinámica eólica.

El mapa resultante está compuesto por 43 categorías y 610 polígonos. A éstas habría que añadir otras 9 categorías, que incluyen 179 polígonos, donde la vegetación es escasa o ausente. En una primera aproximación, y considerando únicamente las tres zonas definidas en función de la actividad del sistema de dunas, se constata que existe una serie de comunidades vegetales adaptadas a vivir preferentemente en la zona activa, entre ellas destacan las siguientes: *Traganum moquinii*, *Salsola kali*, *Cyperus laevigatus* y *Heliotropium ramosissimum*. Por el contrario, otras comunidades vegetales únicamente son capaces de habitar la zona estabilizada, como es el caso de la comunidad de *Mesembryanthemum crystallinum*, la de *Volutaria canariensis*, la de *Phragmites australis*, la de *Aizoon canariense*, la de *Hyparrhenia sinaica*, la de *Plocama pendula*, la de *Schizogyne glaberrima* y la de *Cenchrus ciliaris*. Asimismo, existen otras que pueden instalarse indistintamente en varias zonas: la comunidad de *Cyperus capitatus-Ononis serrata*, la de *Launaea arborecens*, la de *Tamarix canariensis*, la de *Suaeda mollis* y la de *Juncus acutus*. Finalmente, la comunidad de *Zygophyllum fontanesii* solamente se localiza en las zonas en proceso de estabilización.

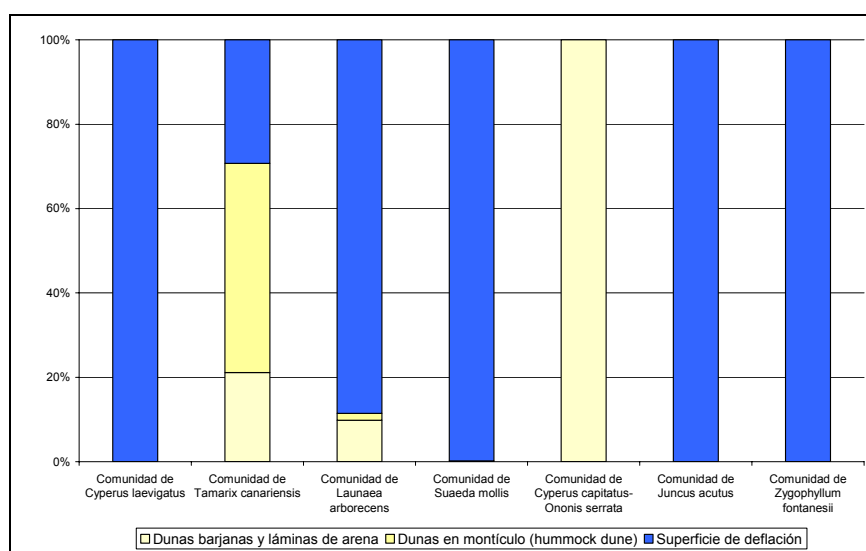
Por lo que respecta a la relación entre la vegetación y las unidades geomorfológicas de la zona activa, se observa que las comunidades vegetales se localizan preferentemente en las depresiones interdunares, excepto la comunidad de *Traganum moquinii* y la de *Tamarix canariensis* (figura 4). La mayor parte de la superficie de la primera comunidad vegetal se localiza en la duna costera. Asimismo, también esta comunidad ocupa la playa, las dunas transgresivas bajas, las dunas transgresivas altas y las depresiones interdunares. Por su parte, la comunidad de *Tamarix canariensis* se ubica preferentemente en las dunas transgresivas altas, aunque también ocupan de forma significativa las depresiones interdunares. Entre las comunidades que se distribuyen mayoritariamente en las depresiones interdunares, cuatro lo hacen de forma exclusiva: la comunidad de *Cyperus laevigatus*, la de *Heliotropium ramosissimum*, la de *Salsola kali* y la de *Suaeda mollis*. Por su parte, la comunidad de *Launaea arborecens* se localiza fundamentalmente en depresiones interdunares, aunque un pequeño porcentaje de su superficie también se ubica en las dunas transgresivas altas. En este caso, se trata de áreas en las que las dunas avanzan sobre las depresiones interdunares donde se desarrolla esta comunidad, cubriéndola parcialmente. Por

lo tanto, de las siete comunidades vegetales existentes en la zona activa, cinco de ellas se localizan principalmente en las depresiones interdunares, lo que indica la gran importancia que posee esta geoforma en la distribución de la vegetación. En contrapartida, la vegetación es prácticamente inexistente en los primeros cordones de dunas, donde las depresiones interdunares son muy escasas.



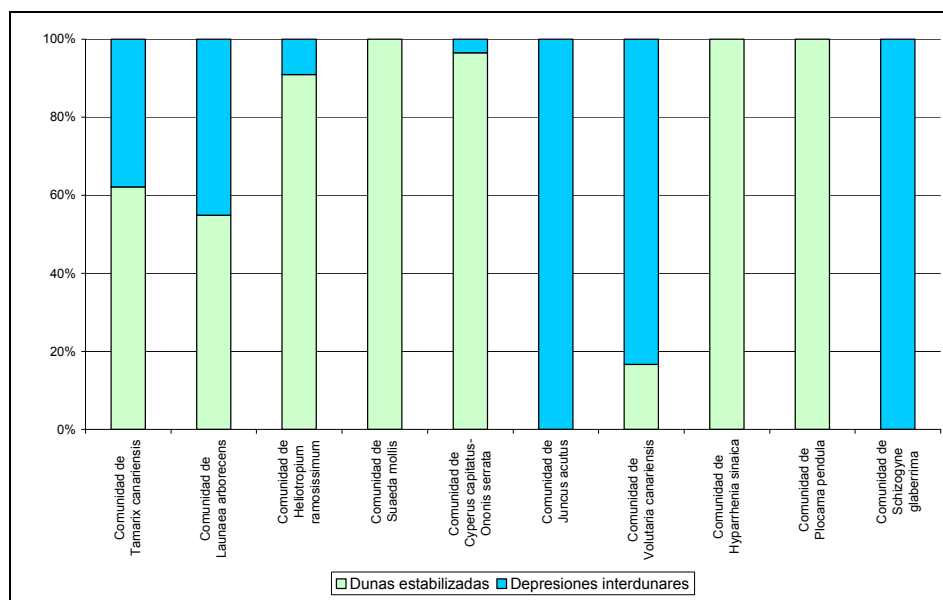
**Figura 4.** Distribución de las comunidades vegetales en relación con las unidades geomorfológicas de la zona activa.

En la zona en proceso de estabilización existe una clara vinculación de la vegetación con las superficies de deflación (figura 5). De las siete comunidades vegetales existentes, un total de cinco se localizan preferentemente en este tipo de geoforma, de las que tres de ellas se ubican de forma exclusiva en la misma. Las otras dos comunidades restantes se distribuyen principalmente sobre geoformas acumulativas. Así, la comunidad de *Cyperus capitatus-Ononis serrata* se encuentra asociada de forma exclusiva a las dunas barjanas y láminas de arena, lo que denota su carácter psamófilo. La comunidad de *Tamarix canariensis* se localiza, por orden de importancia, en: las dunas en montículo, las superficies de deflación y las dunas barjanas y láminas de arena.



**Figura 5.** Distribución de las comunidades vegetales en relación con las unidades geomorfológicas de la zona en proceso de estabilización.

En contraste con los anteriores casos, las comunidades vegetales de la zona estabilizada se localizan mayoritariamente sobre dunas estabilizadas (figura 6). De esta forma, comunidades que en las anteriores zonas se localizaban principalmente en depresiones interdunares, como es el caso de la comunidad de *Launaea arborecens*, ahora ocupan dunas estabilizadas. Otras dos comunidades, la de *Volutaria canariensis* y la de *Schizogyne glaberrima*, se ubican principalmente en depresiones interdunares, además de la comunidad de *Juncus acutus* que está asociada de forma exclusiva a este tipo de geoforma.



**Figura 6.** Distribución de las comunidades vegetales en relación a las unidades geomorfológicas de la zona estabilizada.

Finalmente, se ha analizado el grado de ocupación que posee la vegetación en cada una de las zonas, considerando únicamente las geoformas acumulativas, es decir, las dunas. Las de la zona activa están cubiertas de vegetación en un 3,1 %, porcentaje que se incrementa en la zona en proceso de estabilización hasta un 20,5 %, mientras que en la zona estabilizada alcanza el 97,6 %. Por lo tanto, la superficie de las dunas ocupada por la vegetación se incrementa conforme se reducen los procesos eólicos activos.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En los campos de dunas litorales existe una estrecha vinculación entre la geomorfología y la vegetación. Así por ejemplo, las especies vegetales son uno de los agentes principales en la formación de las dunas, desempeñando un papel muy importante en la determinación de la morfología eólica (Hesp, 1984; Carter, 1988; Hesp, 1989); al tiempo que juegan un papel esencial en la evolución de estos sistemas. En este sentido, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que, en un sistema de dunas litorales, la distribución de la vegetación guarda una estrecha relación con el tipo de geoforma, pero relacionado con la actividad eólica que presenta el sistema. En las zonas donde se mantienen procesos eólicos activos, las comunidades vegetales tienden a distribuirse sobre geoformas erosivas, como es el caso de depresiones interdunares y superficies de deflación. Estas zonas proporcionan más oportunidades para la supervivencia y el desarrollo de la vegetación (mayor proximidad a la superficie de la capa de agua, sustratos aluviales, etc.), en un contexto donde las condiciones ambientales son muy restrictivas. Por el contrario, en la zona estabilizada, la vegetación se distribuye tanto sobre antiguas dunas como en depresiones interdunares. Por lo tanto, en las zonas con procesos eólicos activos, las depresiones interdunares y superficies de deflación constituyen ejes fundamentales en la distribución de la vegetación mientras que, conforme se estabiliza el sistema, se produce un incremento en la ocupación de las dunas propiamente dichas. En

síntesis, las geoformas constituyen un excelente indicador de la presencia de procesos eólicos activos y, por ello, de uno de los factores fundamentales que explican la distribución de la vegetación en este tipo de ecosistemas.

Por lo que respecta a la utilidad de las Tecnologías de la Información Geográfica, siempre apoyadas en el trabajo de campo, para el estudio de las relaciones entre la vegetación y las geoformas en el sistema de dunas de Maspalomas, éstas han revelado su enorme potencialidad. Concretamente los Sistemas de Información Geográfica, frente a otras técnicas basadas exclusivamente en el trabajo de campo, como los transectos, proporcionan información continua de la totalidad del área de estudio, mientras que los transectos sólo lo hacen de zonas concretas. La utilización de un método sencillo, como la superposición de capas, ha permitido realizar una aproximación a los patrones de distribución de la vegetación en función de las geoformas, que será utilizada en futuros trabajos para ampliar el análisis a otros factores ambientales. Además, se ha podido calcular la superficie de cada tipo de vegetación vinculada a las diferentes tipos de geoformas, lo que permite precisar las observaciones empíricas realizadas en el terreno.

Por lo que respecta a las conclusiones que se pueden extraer de este trabajo, consideramos que la utilización de las Tecnologías de la Información Geográfica en el estudio de la vegetación presenta las siguientes ventajas:

- 1) Permiten cartografiar algunas variables, de gran importancia en la distribución de la vegetación, en la totalidad del área de estudio. A este respecto, hay que destacar la posibilidad de integrar otras fuentes de información auxiliares como datos procedentes de GPS, mapas topográficos, fotografías aéreas u ortofotos digitales de diferentes escalas y fechas, Modelos Digitales de Elevaciones (MDE), etc, que permiten una cartografía más precisa con la simple comparación visual de las capas por superposición.
- 2) Se pueden realizar análisis más complejos, estadísticos o espaciales, como el cruce de capas de información, de cara a obtener nuevas capas, como resultado de la intersección de las originales, y cuantificar estas relaciones.
- 3) Todo esto permite obtener una visión espacial global de las relaciones existentes entre las comunidades vegetales y las geoformas.

Sin embargo, también se dan una serie de limitaciones que conviene señalar. La digitalización de las unidades de vegetación de forma manual tiene una carga subjetiva, y no está basada en un procedimiento de medida definido explícitamente (Kadmon y Harari-Kremer, 1999). Por ello, hay que tener en cuenta que los resultados obtenidos siempre están condicionados por la precisión en la determinación de los límites de los factores considerados y de las unidades de vegetación, lo que, a su vez, depende de la experiencia del investigador, del conocimiento que posea del área de estudio y de la calidad de las fuentes de información espacial disponibles, entre otros aspectos. Por otro lado, este método normalmente tiene un mayor coste en cuanto al tiempo empleado para la extracción de las unidades, lo que lo convierte en un procedimiento prohibitivo (Kadmon y Harari-Kremer, 1999). Esto último es especialmente significativo en el caso de áreas de estudio que presentan una gran superficie, ya que no pueden ser abordadas en su totalidad en un periodo de tiempo prudencial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bermejo, J. A. (2002): *Utilización de los Sistemas de Información Geográfica en el análisis de la vegetación y el medio físico. Municipio de Villa de Mazo (La Palma)*. (Tesis de Licenciatura, inédita). Departamento de Biología Vegetal (Botánica). Facultad de Biología. Universidad de La Laguna, 270 pp.
- Carter, R.W.G. (1988): *Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. Academic Press. London. 617 pp.

- Fernández, E; Salas, M.; Quintana, G.; Martín, M.; Máyer, P. y Pérez-Chacón, E. (2004): Las comunidades de vegetación como bioindicadoras para la delimitación espacial de zonas biogeográficas: una aproximación mediante SIG. *Actas del III Congreso Español de Biogeografía*, Urdaibai, País Vasco, pp 180-187.
- Franklin, J. (1995): Predictive vegetation mapping: geographic modelling of biospatial patterns in relation to environmental gradients. *Progress in Physical Geography*, 19 (4): 474-499.
- Gonzalo, J.; Allué, C. y Cuasante, D. (2001): Metodología de análisis de la cubierta vegetal mediante ortografía digital. Su aplicación a la Combe de Huidobro (Burgos). *III Congreso Forestal Español*, Granada.
- Guisan, A.; Theurillat, J-P. y Kienast, F. (1998): Predicting the potential distribution of plant species in an alpine environment. *Journal of Vegetation Science*, 9: 65-74.
- Hernández Calvento, L. (2006): *Diagnóstico sobre la evolución del sistema de dunas de Maspalomas (1960-2000)*. Cabildo de Gran Canaria. Las Palmas de Gran Canaria. 361 pp.
- Hernández-Cordero, A.I.; Pérez-Chacón, E. y Hernández-Calvento, L. (2006): Vegetation colonisation processes related to a reduction in sediment supply to the coastal dune field of Maspalomas (Gran Canaria, Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Research*, SI 48: 69-76.
- Hesp, P.A. (1984): Foredune formation in southeast Australia; En: Thom, B.G. (Ed.), *Coastal geomorphology in Australia*. Academia Press, London, pp 69-97.
- Hesp, P.A. (1989): A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes; En: Gimingham, C.H.; Ritchie, W.; Willetts, B.B. y Willis, A.J. (Eds.), *Coastal sand dunes*. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh, vol 96B. Roy Soc. Edinb, Edinburgh, pp 181-201.
- Hesp, P.A. y Thom, B.G. (1990): Geomorphology and evolution of active transgressive dunefields; En: Nordstrom, K.F.; Psuty, N.P. y Carter, R.W.G., *Coastal dunes. Form and Process*. Wiley & Sons, Chichester, pp 253-288.
- Hesp, P.A. (1991): Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *Journal of Arid Environments*, 21: 165-191.
- Kadmon, R. y Harari-Kremer, R. (1999): Studying long-term vegetation dynamics using digital processing of historical aerial photographs. *Remote Sensing of Environment*, 68: 164-176.
- Martínez, J. (1986): Dunas de Maspalomas (Gran Canaria): naturaleza petrológica de sus arenas. *Anuario de Estudios Atlánticos*, 32: 785-794.
- Nadal, I. y Guitián, C. (1983): *El sur de Gran Canaria: entre el turismo y la marginación*. Cuadernos Canarios de Ciencias Sociales, nº 9. Centro de Investigación Económica y Social de la Caja Insular de Ahorros de Gran Canaria, Lanzarote y Fuerteventura. Madrid. 236 pp.
- Palmer, A.R. y Van Staden, J.M. (1992): Predicting the distribution of plant communities using annual rainfall and elevation: an example from southern Africa. *Journal of Vegetation Science*, 3 (2): 261-266.

- Parreño, J.M. (2001): Características de la oferta turística en Maspalomas Costa Canaria En: Hernández, J.A. y Parreño, J.M. (Coords.), *Evolución e implicaciones del turismo en Maspalomas Costa Canaria*. Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana, pp. 103-127.
- Pérez-Chacón, E.; Hernández Calvento, L., Hernández Cordero, A., Máyer Suárez, P., Romero Martín, L., Alonso Bilbao, I., Mangas Viñuela, J., Menéndez González, I., Sánchez Pérez, I., Ojeda Zújar, J., Ruiz Flaño, P. y Alcántara Carrió, J. (2007): *Maspalomas: claves científicas para el análisis de su problemática ambiental*. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 38 pp.
- Shanmugam, S. y Barnsley, M. (2002): Quantifying landscape-ecological succession in a coastal dune system using aerial photography and GIS. *Journal of Coastal Conservation*, 8: 61-68.
- Vallejo, I. (2007): *Caracterización Geomorfológica y análisis de la evolución reciente del sistema de dunas activas del Parque Nacional de Doñana (1956-2001)*. (Tesis Doctoral). Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Sevilla, 468 pp.