

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA



TESIS DOCTORAL

**ANÁLISIS DE LA EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DE DUNAS DE
MASPALOMAS, GRAN CANARIA, ISLAS CANARIAS (1960-2000)**

LUIS F. HERNÁNDEZ CALVENTO

Las Palmas de Gran Canaria, 2002

ÍNDICE

	<u>Pág</u>
PRESENTACIÓN	1
Agradecimientos	4
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E INTRODUCCIÓN AL ÁREA DE ESTUDIO	9
1.1. Líneas de investigación, características generales y fragilidad de los sistemas dunares litorales	9
1.1.1. Líneas de investigación sobre los sistemas dunares litorales	10
1.1.2. Características generales de los sistemas dunares	17
1.1.3. Fragilidad de los sistemas dunares litorales y necesidades de gestión	23
1.2. Canarias: los sistemas dunares y su protección	28
1.2.1. Aproximación a los sistemas dunares de Canarias	28
1.2.2. La protección de los sistemas dunares en Canarias	32
1.3. Introducción al sistema dunar de Maspalomas	34
1.3.1. Justificación del área de estudio	34
1.3.2. Rasgos generales	35
1.3.2.1. Medio natural	36
1.3.2.2. Historia reciente	43
1.3.2.3. Protección del espacio	46
1.3.3. La situación actual del sistema dunar de Maspalomas: el conflicto entre el desarrollo y la conservación	48
CAPÍTULO II. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA	55

2.1. Objetivos e hipótesis.....	56
2.2. Metodología general	58
2.3. Análisis de la evolución del sistema a partir de documentos aéreos.....	62
2.3.1. Selección de vuelos fotogramétricos	62
2.3.2. Digitalización, corrección geométrica de los fotogramas y elaboración de documentos georreferenciados	64
2.3.3. Trabajos de interpretación	67
2.3.4. Zonificación y señalización del área de estudio	69
2.4. Análisis de la evolución durante los años noventa a partir del tratamiento e interpretación de imágenes digitales	74
2.4.1. Selección de documentos de análisis.....	75
2.4.2. Tratamiento digital de la información	77
2.4.3. Corrección geométrica de los documentos	81
2.5. Elaboración e interpretación de perfiles topográficos.....	81
2.6. Caracterización actual del sistema a través de trabajo de campo.....	85
2.6.1. Observaciones de campo y seguimiento fotográfico.....	86
2.6.2. Seguimiento de la velocidad de desplazamiento de las dunas	88
2.6.3. Caracterización de los sedimentos.....	94
2.6.4. Caracterización de la vegetación	100
2.6.5. Análisis de los datos de viento	101
2.6.6. Altura del sedimento en la playa del Inglés.....	103
2.7. Expresión de los resultados	104
CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL I: GEOLOGÍA Y VEGETACIÓN.....	106
3.1. Contexto geológico y geomorfológico.....	106

3.1.1. Antecedentes	111
3.1.2. Características de las rocas sedimentarias	115
3.1.2.1. Distribución espacial de los materiales geológicos	115
3.1.2.2. Resultados de los análisis petrográficos	118
3.1.3. Características de las arenas superficiales	127
3.1.3.1. Resultados de los análisis petrográficos	128
3.1.3.2. Resultado de los análisis textural y químico.....	136
3.2. Vegetación	141
3.2.1. Comunidades vegetales	141
3.3. Reconstrucción paleogeográfica: una primera aproximación	164
CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL II: VIENTO, GEOMORFOLOGÍA EÓLICA Y MODELO DE FUNCIONAMIENTO ENTRE FINALES DE LOS AÑOS 90 Y LA ACTUALIDAD.....	178
4.1. Caracterización del viento	178
4.1.1. Antecedentes	178
4.1.2. Rasgos generales del factor eólico.....	181
4.2. Velocidad de desplazamiento de las dunas	191
4.3. Altura de la lámina de arena.....	195
4.4. Geomorfología eólica a finales de los años 90 y año 2000.....	202
4.4.1. Antecedentes	202
4.4.2. Características de la geomorfología eólica actual	203
4.4.3. La franja del Inglés (A).....	204
4.4.4. La terraza sedimentaria (B).....	211
4.4.5. El interior del sistema (C).....	212

4.4.6. El sector occidental (D)	217
4.5. Funcionamiento actual del sistema dunar (1998-2000)	220
4.5.1. Antecedentes	220
4.5.2. Funcionamiento del sistema.....	225
CAPÍTULO V. EVOLUCIÓN DEL SISTEMA DUNAR DE MASPALOMAS DESDE PRINCIPIOS DE LOS AÑOS 60 HASTA MEDIADOS DE LOS AÑOS 90	233
5.1. Caracterización del área a principios de los años 60.....	230
5.1.1. Altura de la lámina de arena	231
5.1.2. Comunidades vegetales	236
5.1.3. Geomorfología eólica a principios de los años 60.....	243
5.1.3.1. La Franja del Inglés (A).....	244
5.1.3.2. La terraza sedimentaria (B).....	245
5.1.3.3. El interior del sistema (C).....	252
5.1.3.4. El sector occidental (D)	256
5.1.4. Funcionamiento del sistema dunar a principios de los años 60.....	257
5.2. Caracterización del área a finales de los años 70	260
5.2.1. Geomorfología eólica a finales de los años 70	260
5.2.1.1. La Franja del Inglés (A).....	261
5.2.1.2. La terraza sedimentaria (B).....	264
5.2.1.3. El interior del sistema (C).....	266
5.2.1.4. El sector occidental (D)	271
5.2.2. Funcionamiento del sistema dunar a finales de los años 70.....	272
5.3. Caracterización del área de estudio a finales de los años 80.....	274

5.3.1. Geomorfología eólica a finales de los años 80	274
5.3.1.1. La franja del Inglés (A).....	275
5.3.1.2. La terraza sedimentaria (B).....	276
5.3.1.3. El interior del sistema (C).....	277
5.3.1.4. El sector occidental (D)	279
5.3.2. Funcionamiento del sistema dunar a finales de los años 80.....	281
5.4. Caracterización del área de estudio a mediados de los años 90	282
5.4.1. Geomorfología eólica a mediados de los años 90	282
5.4.1.1. La franja del Inglés (A).....	282
5.4.1.2. La terraza sedimentaria (B).....	285
5.4.1.3. El sistema interior (C).....	286
5.4.1.4. El sector occidental (D)	287
5.4.2. Funcionamiento del sistema dunar a mediados de los años 90	287
CAPÍTULO VI. TRANSFORMACIONES EXPERIMENTADAS POR EL SISTEMA DUNAR DE MASPALOMAS EN LOS ÚLTIMOS CUARENTA AÑOS.....	289
6.1. Actividad humana.....	290
6.1.1. Impactos producidos por los equipamientos de playa.....	291
6.1.1.1. La playa de Maspalomas.....	292
6.1.1.2. La playa del Inglés.....	296
6.1.2. Impactos ocasionados por los usuarios de la playa	305
6.1.2.1. Impactos sobre los elementos geomorfológicos	306
6.1.2.2. Impactos sobre el medio biótico	313
6.1.2.3. Otros impactos ambientales	315

6.2. Evolución de la altura de la lámina de arena.....	316
6.3. Evolución de la vegetación.....	322
6.4. Evolución de la geomorfología eólica.....	326
6.4.1. Evolución de los espacios interdunares.....	326
6.4.2. Evolución de la distancia entre la playa alta y el primer cordón dunar en la playa del Inglés.....	330
6.4.3. Evolución de las geoformas.....	333
6.4.3.1. La etapa reciente.....	333
6.4.3.2. La etapa actual.....	336
6.5. Evolución del funcionamiento del sistema.....	342
CAPÍTULO VII. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.....	347
Discusión: la investigación desarrollada.....	347
Conclusiones: la transformación del sistema.....	351
Perspectivas.....	359
Bibliografía.....	366
Anexo: Catálogo de especies vegetales.....	386

PRESENTACIÓN

Esta investigación se ha desarrollado en el seno del Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente del Departamento de Geografía de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, bajo la dirección de los doctores Emma Pérez-Chacón Espino, catedrática de Geografía Física de la mencionada Universidad, y Carlos Suárez Rodríguez, biólogo de la Dirección General de Ordenación del Territorio del Gobierno de Canarias.

Se enmarca en una de las tres líneas de investigación desarrolladas por dicho grupo, cuyo objetivo es la *elaboración de estudios básicos del medio natural y del paisaje y de las alteraciones producidas por los cambios de uso del suelo*. Igualmente, sigue la tradición del área de Geografía Física de abordar estudios sobre problemáticas reales, dentro de una línea de investigación aplicada.

Este trabajo tiene como punto de partida la realización, en 1996, del Plan Director de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas, en la isla de Gran Canaria. Este documento, elaborado por técnicos de la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno de Canarias y de la empresa pública Gestión de Planeamientos de Canarias (GESPLAN, S.A.), es parte del desarrollo de la *Ley 12/1994, de 19 de diciembre, de Espacios Naturales de Canarias*. La necesidad de profundizar, en aquel momento, en el funcionamiento de esta Reserva, llevó a la realización de una serie de ejercicios cuyo propósito era conocer, por un lado, la dinámica de este sistema dunar desde los años 60 y, por otro, las posibles afecciones que las infraestructuras turísticas podían haber ocasionado en el sistema.

Fruto de aquel acercamiento al funcionamiento de este sistema dunar son algunas referencias bibliográficas (Suárez y Hernández, 1998a y 1998b), a través de las cuales se revela una realidad hasta entonces poco estudiada: la transformación sufrida por el sistema dunar, con la estabilización de las arenas ubicadas en los sectores interiores y el notable desarrollo que experimentan algunas comunidades vegetales, un hecho poco

probable en un sistema dunar activo. Esta transformación parecía estar en relación directa con la alteración de la dinámica sedimentaria eólica, causada por el desarrollo urbanístico y de las infraestructuras turísticas que se han producido en Maspalomas desde los años 60.

Así, tras la realización de aquellos ejercicios, cuyas conclusiones fueron incluidas en el Documento Informativo del Plan Especial, se abrían toda una serie de interrogantes por resolver. Sin embargo, las respuestas a estas preguntas superaban el marco de las investigaciones puntuales que se habían desarrollado, por lo que, desde el propio Plan Director se estableció, en su *Programa de Investigación y Estudios* (apartado 5.4. del *Documento Normativo*), la posibilidad de abordarlas desde otros ámbitos. Así, se reconoce la necesidad de un “*Estudio sobre procesos dinámicos y morfológicos en el campo de dunas de Maspalomas con propuestas de medidas en relación con la planificación y gestión de esta franja litoral*” (apartado h).

Es por ello por lo que este trabajo intenta dar respuesta a esta solicitud, y lo hace desde la investigación académica, menos supeditada a condicionantes temporales, económicos y políticos. Para ello, el estudio se plantea tres análisis que se encuentran estrechamente relacionados: el primero de ellos trata de conocer el funcionamiento del sistema dunar en la actualidad, en cuanto a la dinámica de los sedimentos y el papel que desempeña la vegetación. Con ello quedará establecido un punto de partida que permita proceder a la comprensión de ese funcionamiento en épocas anteriores, cuestión que conforma el segundo análisis que da cuerpo a esta investigación. Finalmente, la comparación entre el funcionamiento en las épocas anteriores y la actualidad, a través de un análisis diacrónico, permitirá establecer los cambios ocurridos en el sistema dunar y la relación que éstos puedan tener con el desarrollo turístico que, desde los años 60, ha experimentado el área de estudio.

Este trabajo recoge y adapta algunos resultados derivados del proyecto de investigación “Informe sobre los impactos ocasionados por los kioscos de playa del Inglés” que, en el año 2001, fue financiado por el Ilustre Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana. Así, en pleno desarrollo de esta tesis, esa corporación contactó con un equipo multidisciplinar que, organizado desde el Grupo de Geografía Física y Medio Ambiente de la U.L.P.G.C., trabajó con el fin de caracterizar los impactos que los equipamientos turísticos estaban produciendo en el área de entrada de las arenas en el sistema, la playa del Inglés. El documento final (Hernández *et al.*, 2002) realiza un análisis diacrónico del sector oriental del campo de dunas desde los años 60, llegando a la conclusión de que se ha producido una importante variación en la dinámica sedimentaria eólica natural del sistema dunar, como consecuencia del desarrollo turístico del área. Se hace necesario aclarar que parte de la metodología y de los resultados obtenidos en aquel informe son retomados por esta tesis doctoral, pues conforman, desde el punto de vista de la investigación, un mismo cuerpo de análisis.

Esta tesis se encuentra estructurada en siete capítulos. El primero de ellos se ha dedicado a los antecedentes y al planteamiento del problema, aportando una visión general sobre la fragilidad y complejidad de los sistemas dunares, así como de su necesidad de protección. En este punto se realiza un acercamiento a los sistemas dunares en Canarias y, especialmente, a la problemática del ámbito de estudio. Por último, se realiza una introducción al área de estudio.

El segundo capítulo comprende los objetivos del trabajo, el diseño metodológico y su aplicación, mientras que los resultados obtenidos se presentan en los capítulos consecutivos siguientes. El séptimo y último capítulo se reserva a las conclusiones que se derivan de esta investigación, así como a la discusión del método utilizado y las recomendaciones, tanto en cuanto a posibles líneas de investigación en este campo y en este espacio, como en cuanto a la propia gestión del sistema dunar.

Agradecimientos

A Emma Pérez-Chacón, que hizo que me enamorara de la Geografía.

A Carlos Suárez, que hizo que me enamorara de este territorio y de este trabajo.

A ambos, por haberme soltado en medio de las dunas y decirme “ahí queda eso” (sin duda se referían al sistema dunar y no a mí). Por enseñarme que el tiempo jugaba a mi favor, que tenía que tener paciencia y constancia si quería llegar a COMPRENDER (con mayúsculas) el sistema... y lo consiguieron... Por haberme acompañado a ver las formas de erosión eólica alrededor de los balcones, a observar cómo se saca un kiosco de su sitio y se coloca en otra parte, a medir el avance de las dunas, a tomar fotografías de lo que un temporal es capaz de formar, a contar el número de cabezas de lagarto que un alcaudón puede llegar a enganchar en un tarajal, a medir la erosión en las casamatas (aún cuando yo me encontrara de viaje), a estudiar la vegetación y relacionarla con los suelos y los materiales geológicos aflorantes... y tantas cosas más...

A ellos se deben, sin duda, los aciertos de este trabajo.

A Purificación Ruiz, que me dejó muy claro, desde el principio, que tenía que conocer cada palmo del terreno, que se pasó los fines de semana acompañándome por el interior y por el exterior del sistema dunar, tomando muestras y medidas, colocando estacas y contando piedras, pasándose 12 horas seguidas a pleno sol con el único cometido de vigilar que nadie tocara el “aparataje” para medir el viento... Haciendo de “abogado del diablo” en cada una de mis observaciones... Todas sus aportaciones están en este trabajo, por lo que ha sido, sin duda, su tercera directora...

A José Mangas, que se empeñó en que tenía que analizarlo todo, y que me acompañó en más de una ocasión al campo para que yo supiera de una buena vez qué eran aquellas

piedras... que resultaron no ser tales piedras, sino algún tipo de material geológico que él mismo se encargó de estudiar.

A Nacho Alonso, que quiso aclararme “*in situ*” todas las dudas que tenía sobre las “*beachrocks*”, sobre los niveles marinos, sobre las arenas... que me prestó bibliografía (seguro que aún le debo alguna referencia, aunque él ni se acuerda), me recomendó qué estudiar y me ayudó en la selección de los elementos a representar en la cartografía geomorfológica... Por eso y porque sabe que cuando hay que hablar, hay que hablar.

A Javier Alcántara-Carrió, que, además de ayudarme a interpretar la carencia de sedimentos en la playa del Inglés, se empeñó en que aprendiera todo lo que debía saber sobre la dinámica sedimentaria eólica y me facilitó mucha de la información que necesitaba (aunque yo ni supiera que la necesitaba). Gracias Javi.

A Lidia Romero que me ayudó con los datos de viento, se encargó de llevar las muestras de suelo para que las analizaran y se ocupó del último (y estricto) control de redacción... A Inma Menéndez, que me prestó bibliografía para que yo, al menos, intentase interpretar los datos de suelo... aunque al final terminase ella corrigiendo mis observaciones... y, de paso, el método de trabajo del propio laboratorio... A Victoria Marzol, que me aportó las referencias bibliográficas necesarias para explicar cómo los vientos alisios rodean la isla, y cómo se produce la variación diaria del alisio.

A Tino Naranjo, que me echó una mano con la vegetación, aportándome bibliografía e ideas, además de aguantar estoicamente mis neuras diarias. A Antonio Santana, que no sólo me prestó un artículo en prensa, sino que discutió conmigo algunas ideas que enriquecieron este trabajo. A Tino Criado, que me prestó información, a pesar de que no estaba publicada.

A los arqueólogos Ernesto Martín y Xavier Velasco, que se preocuparon en buscar la referencia sobre el yacimiento arqueológico del campo de dunas; a Amelia Rodríguez, que quiso comprobar si el yacimiento era o no un yacimiento (¡pues claro que lo era!) e interpretó los materiales. A Teresa Morant, que me aconsejó en cuestiones de topografía. A Pablo Máyer, que me acompañó en plena tarde-noche a la playa de Maspalomas para ver cómo se erosionaba.

Al brigada Regaldíe, del Mando Aéreo de Canarias (MACAN) por las facilidades prestadas para el acceso a la información de los fondos de la base aérea de Gando. Al brigada Tauste, del Archivo Histórico del Servicio Histórico y Cultural del Ejército del Aire, por su ayuda en la localización del material de estudio. Al Instituto de Historia y Cultura Aeronáutica del Ministerio de Defensa, por su rápido y eficaz servicio en la adquisición del material seleccionado.

A Claudio Moreno y a Carmen Ginés, por aportarme algunas fotos históricas familiares que ayudaron a conocer y caracterizar algunos rasgos del sistema dunar en el pasado.

A todos los que, alguna vez, me han acompañado en mis periplos por el sistema dunar, ya fuera para ver cómo se erosionaba la playa de Maspalomas, ya a sentarse a contar cuánta gente pasa en una hora por una llanura de deflación. Y eso sin otra cosa más que hacer que protegerme de las “agresiones externas”, ayudarme a tomar medidas del avance de las dunas y escuchar mis interminables elucubraciones sobre cada palmo del terreno: Marcos Suárez, Ascención Padilla, Juan Antonio Marco, Beatriz González, José Santiago y tantos otros que ya he citado y que citaré...

A María del Carmen Calvento, que además de ser la madre de uno (lo cual ya es por sí divertido), se pasó no sé cuántos mañanas buscándome información en la hemeroteca. A Pilar Paricio, por sus enormes dosis de paciencia y cariño, y porque en su casa me siento muy protegido y con toda la seguridad y tranquilidad que necesito para poder trabajar.

A los otros miembros de mi familia (Soledad y Mary Carmen, Luis y Luna, Víctor y Jose), por motivarme y apoyarme y comprender mis silencios y mis ausencias.

A Magüi Monteiro y Gerry Boyland, por su cariño y por su apoyo a lo largo de todo el período de redacción de este trabajo.

A Heriberto Cruz y a Pilar Palomar, porque en México me hicieron sentir como en casa y porque, junto a Bertha Márquez, me ayudaron a reflexionar sobre este trabajo y a ponerle fin. A mis otros amigos de un histórico doctorado, Iksu Kyun, Daniel Martínez y Carlos Mena, quienes, a pesar de la distancia (que es mucha), me hacían llegar sus mensajes de ánimo... Y a mis otros amigos de Alcalá: Francisco López, César Reñones, Ana Leiva, Christopher Wedgeworth, Milagros Garrido,... por estar ahí, donde siempre están.

A los Profesores que han marcado mi carrera enseñándome lo que sé y lo que soy: Horacio Capel, Javier Martín Vide, Josep María Panareda, Emilio Chuvieco, Joaquín Bosque, José Sancho, Diogo de Abreu, Luz Marina García y José Ramón Vera. Y también a aquellos otros que me hicieron ver lo que nunca quiero llegar a ser... ¡Claro, que a esos ni los nombro, no sea que me los vuelva a encontrar algún día en un tribunal!

A todos los que, antes que yo, alguna vez se han acercado a Maspalomas con la intención de conocer su funcionamiento y, muy especialmente, a Carlos Guitián y Nacho Nadal, a Jesús Martínez y a Rubén Naranjo... Y a los que faltan por llegar, de los que espero una seria corrección y mejora de este trabajo... Al fin y al cabo en esto de las Ciencias de la Tierra, cada investigador no es más que un simple elemento en la construcción del edificio del Conocimiento y, así, el trabajo de cada uno, conforma la base sobre la que se van apoyando los demás, renovando y ampliando la estructura, pero también rectificando la dirección tomada por los otros... Así es y así hay que asumirlo...

A todos ellos y a tantos otros que, aún sin saberlo, han hecho que este trabajo mereciera la pena.

Al sistema dunar de Maspalomas, porque cuando lo conocí no era más que una gran mole de arena y, durante los años que hemos pasado juntos, se ha ido, poco a poco, transformando, para dejarme entrever algunos de sus secretos mejor guardados, pero también de sus problemas, de sus heridas y de sus cicatrices... de sus estrategias de supervivencia, de sus adaptaciones a las condiciones que le imponemos los de la especie humana... Y en ocasiones me ha parecido verle retorcerse de dolor, de miedo y de angustia... Ahora empiezo a saber porqué... Pero también ahora sé que, con el tiempo, se irán resolviendo los enigmas que le acompañan... Salvo el mayor de todos, que no creo que nadie sea capaz de resolver jamás: ¿Cómo es posible que un territorio tan reducido siga reteniendo tantos secretos?

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES, PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA E INTRODUCCIÓN AL ÁREA DE ESTUDIO

1.1. Líneas de investigación, características generales y fragilidad de los sistemas dunares litorales

La interacción de factores ambientales que se produce en el ámbito costero determina una gran variedad de procesos. La consecuencia de este hecho es que se considere a *la franja litoral como una de las zonas naturales más frágiles del planeta* (Andrés y Gracia, 2000, s/n). Estos procesos naturales, que se desarrollan a diferentes escalas temporales y espaciales, posibilitan su continua modificación, en lo que sería una dinámica natural litoral. La ocupación continua de este espacio por parte de la sociedad humana, y el desarrollo de actividades y usos ajenos a este medio, acelerado en las últimas décadas, ha llevado consigo una interacción con esa dinámica natural hasta tal punto que ésta se ha visto, en muchas ocasiones, gravemente alterada (Paskoff, 1998).

El 20% de las costas del mundo son arenosas y, de éstas, el 70% se erosionan, tanto debido a procesos naturales, como a causas antrópicas, toda vez que estos ambientes han representado el reclamo para el asentamiento de actividades e infraestructuras turísticas (Nonn, 1972). Las transformaciones derivadas de tal interacción no han pasado por alto para los científicos, hecho que se manifiesta en el creciente número de investigaciones que, en las dos últimas décadas, han tenido como objeto de análisis estos sistemas. En este sentido, han cobrado gran interés los estudios que pretenden encontrar métodos para la estabilización de las arenas litorales en aquellos lugares donde se producen procesos erosivos continuos o estacionales (Aubié y Tastet, 2000).

Los sistemas dunares litorales tienen la particularidad de mostrarse como uno de los ambientes más frágiles, y con mayores posibilidades de sufrir una interacción que derive en la alteración de su dinámica natural, en los que cobran un notable protagonismo las acciones humanas, como modificadoras de su evolución (Nordstrom, 1994). Ante las

numerosas alteraciones sufridas, estos espacios han tenido una importancia creciente en las últimas décadas en cuanto a las iniciativas por proteger sus valores (Paskoff, 1993).

1.1.1. Líneas de investigación sobre los sistemas dunares litorales

Acercarse al estudio de los sistema dunares litorales implica, en primer lugar, entrar en uno de los campos de conocimiento más universales de las Ciencias Naturales, el de los ambientes eólicos. Así, los procesos geomorfológicos que tienen su génesis en el viento pueden ser localizados en diferentes ambientes, desde sistemas cálidos, como playas y desiertos, hasta fríos, como superficies glaciares. Estos procesos dominaron las formas del modelado terrestre en los períodos geológicos anteriores a la aparición de la vegetación sobre la tierra (Kocurek, 1996), como aún podemos reconocer en otros astros de nuestro sistema solar, como Marte, Venus o Titán (figura I,1).



Figura I.1. Dunas transversales y barjanas sobre la superficie de Marte, captadas por la sonda espacial Viking (Fuente: Calvin J. Hamilton, página web personal)

El origen de los actuales sistemas dunares litorales se relaciona con procesos post-glaciares y con los cambios holocenos en el nivel del mar. En consecuencia, en ellos se pueden distinguir secuencias de espacios dunares superpuestos, sistemas estables y, por último, sistemas desestabilizados como consecuencia de las interacciones humanas y los cambios globales (Thomas, 1999). Responden a un equilibrio dinámico que se encuentra caracterizado por la presencia de un gran volumen de arena que, empujadas por las corrientes marinas y el oleaje, alcanzan una playa con un amplio estrán, donde los sedimentos se secan y pueden ser movilizados por los vientos perpendiculares a la costa. Al tiempo, necesitan de la presencia de una extensión más o menos llana, que hace las veces de receptáculo, sobre el que las formas dunares pueden avanzar (Paskoff, 1998).

Situados en un ámbito de estudios multidisciplinarios (Pye y Tsoar, 1990), en el que se entremezclan un gran número de disciplinas científicas, el interés por entender estos sistemas se remonta a la primera mitad del siglo XX, aunque en un primer momento se trate de estudios descriptivos (Servera, 1997). A partir de los años 30, sin embargo, las investigaciones sobre estos ambientes suelen estar enmarcadas en dos grandes campos, no obstante, entrelazados: por un lado, el relativo a los sistemas dunares y, por otro, los estudios de dinámica litoral. En ambos aparecen dos enfoques (Paskoff, 1993; Bauer y Sherman, 1999), que se deben entender como complementarios: el primero de ellos se corresponde al análisis de los parámetros físicos, mientras el segundo es más clásico, descriptivo y global.

El primer enfoque está, pues, relacionado con el estudio de los fenómenos dinámicos a través del análisis de las variaciones de los elementos y procesos que constituyen el sistema litoral. Se centra en el análisis de los flujos sedimentarios, mediante métodos cuantitativos, haciendo uso para ello de modelos paramétricos y físicos. Su desarrollo concreto, en cuanto a los sistemas de dunas litorales, viene marcado por los avances propios en las investigaciones de los sistemas eólicos. El primer avance científico de

importancia proviene de la mano de R. A. Bagnold (Bagnold, 1941), cuyos trabajos, desde principios de los años 30, aportan a esta disciplina la comprensión de los mecanismos de transporte eólico (Pye y Tsoar, 1990; Nickling, 1994; Bauer y Sherman, 1999). Sus aportaciones, llevadas a otros campos, culminan con la aparición de la Ecuación de la Erosión Eólica del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Woodruff y Siddoway, 1965), de carácter empírico (Pedraza, 1996), como lo era, igualmente, la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo, USLE (Wischmeier y Smith, 1965). Esta línea, nacida de la mano de Bagnold, está definida por investigaciones que, enmarcadas en una escala temporal corta, son mecanicistas y reduccionistas, pues tratan de encontrar los mecanismos que caracterizan la dinámica sedimentaria eólica (Bauer y Sherman, 1999).

A ella pertenecen, por tanto, los avances producidos en el conocimiento teórico de los mecanismos que articulan la dinámica sedimentaria, y en la elaboración de los modelos matemáticos que los definen. Algunos ejemplos consultados, en esta línea, son la predicción de erosión producida por el flujo eólico, considerando la distribución de la energía liberada por los granos de arena en saltación (Rice *et al.*, 1999); el comportamiento del viento en las dunas transversales (Van Boxel, 1999) y el desarrollo de las geoformas conforme a sus variaciones (Van Dijk, 1999); o, así mismo, las variaciones experimentadas en el transporte eólico debido a la interacción de elementos “ajenos” al sistema, lo que determina depósitos que varían en el espacio y en el tiempo conforme a la forma y las dimensiones de esos elementos (Al-Awadhi y Willetts, 1999).

La segunda tendencia señalada, más clásica, se relaciona directamente con la geomorfología litoral, que se basa en el análisis de las geoformas y sus variaciones durante un período de tiempo. El fin de los estudios que siguen esta tendencia es conocer la evolución de un sistema y poder, así, extrapolar los resultados (Paskoff, 1993). Para Bauer y Sherman (1999), en relación al estudio de los ambientes eólicos costeros, esta línea se desarrolla haciendo uso de largas escalas temporales; posee un carácter holístico

y constructorista y su objetivo es conocer el comportamiento de los sistemas. Su origen se remonta a W.M. Davis y tiene una visión más amplia que la anterior, dado que se consideran, junto a las dunas, otros elementos ecológicos, como vegetación, suelos o fauna (Bauer y Sherman, 1999). Esta línea experimenta un importante desarrollo a partir de los años 70, con nuevos avances protagonizados por la Geomorfología. Las razones hay que buscarlas en varios frentes: por un lado, la necesidad de abordar estudios de cara a la explotación de nuevos yacimientos petrolíferos en regiones áridas; por otro, la fuerte sequía que azota territorios del África Subsahariana, con el consabido crecimiento de las áreas desérticas, que amenazan amplios territorios (Servera, 1997). Por último, es el propio avance experimentado por las tecnologías de la información geográfica (TIG) la que aporta, a esta línea, una de sus bazas más importantes.

Para Paskoff (1993), las investigaciones desarrolladas hacen uso de tres escalas temporales: la holocena, la histórica y la actual o reciente. Con respecto a la escala holocena, se considera a partir de los últimos 5.000 ó 6.000 años (Pye, 1983), y tiene en cuenta las variaciones del nivel del mar, relacionadas con los períodos post-glaciares. Esta primera escala tiene su razón de ser en que estos ambientes son especialmente sensibles a los cambios climáticos, por lo que han sido muy utilizados para extraer información acerca de los cambios ambientales experimentados, tanto en cuanto a la estratificación interna de las geoformas, como en cuanto al análisis de los ciclos que determinan los modelos de acumulación (Kocurek, 1996).

Algunas aportaciones en esta línea son, a modo de ejemplo, las dataciones por radio-carbono efectuadas en las costas de Chile central, costa occidental de los Estados Unidos y Australia oriental, a partir de cuyos datos se concluye que una regresión puede desencadenar una actividad dunar, pues permite dejar al descubierto espacios arenosos antes sumergidos (Pye, 1983). En esta misma línea se encuentran también trabajos desarrollados en la Bretaña Francesa, que ponen al descubierto variaciones importantes en la línea de costa entre la Edad del Bronce Final y la época galoromana, con el desarrollo

de ambientes eólicos que se adentran en tierra, y ocupan áreas habitadas por sociedades humanas (Paskoff, 1993).

Los estudios sobre la escala histórica cuentan a su favor con la riqueza de fuentes de información, debido a que la costa ha sido uno de los ámbitos cartografiados con mayor precisión, por la necesidad de contar con fuentes exactas para la navegación. De este modo, la antigüedad de los documentos de los que hoy se dispone para afrontar este tipo de análisis está a la par con su cantidad (Goudie *et al.*, 1981). Estos estudios se suelen abordar a partir de la realización de análisis comparativos y evolutivos acerca de determinadas formas litorales o de acumulación de sedimentos, tomando como fuentes de referencia cartas náuticas o batimétricas y fotografías aéreas actuales. Entre los resultados más destacados se encuentra el cálculo de modelos de sedimentación y crecimiento de bancos de arena (Robinson, 1960; Caston, 1972).

Por último, el análisis de las variaciones producidas en períodos más cortos, siempre dentro del último siglo, es una línea adecuada cuando el objetivo final es participar en la planificación de un espacio, dado que se accede a ella a partir de documentos caracterizados por su alta calidad técnica, como la fotografía aérea y la cartografía a gran escala (Paskoff, 1993). En ella, por tanto, tiene un papel destacado el avance experimentado por la tecnología espacial desde principios de los años 70, principalmente por el desarrollo de misiones que captan imágenes de la superficie de la tierra. Será precisamente esta tecnología la que suponga una verdadera revolución, al permitir comprobar, de la mano de McKee (1979) algunos efectos, desconocidos hasta entonces en cuanto a sus dimensiones, de la erosión eólica, al tiempo que permite clasificar las dunas según su morfología (Nickling, 1994; Gutiérrez, 2001).

En los últimos años todas estas tendencias se han visto enormemente enriquecidas con la implementación de tecnologías de la información geográfica (TIG), tanto en cuanto a la dinámica litoral, como en cuanto a los sistemas dunares. En relación a la primera, los

cambios experimentados por la dinámica costera se pueden abarcar mediante sistemas de posicionamiento global (GPS) para la realización de perfiles de playa; o mediante el uso de fotografías aéreas de pequeño formato, llevadas a entornos digitales, para su análisis tridimensional a través de modelos digitales de elevaciones (Hapke y Richmond, 2000); o, así mismo, haciendo uso de sensores lidar para el estudio de la evolución de la topografía de la costa (Brock *et al.*, 2002; Ojeda, 2000). En esta línea, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han permitido ajustar los datos a un entorno espacial, logrando resultados muy avanzados en cuanto a predicciones morfodinámicas (Eleveld, 1999).

Los avances que han supuesto estas tecnologías en el campo de los estudios sobre ambientes eólicos también han sido notables. Así, frente al uso tradicional de fotografías aéreas para realizar el seguimiento del desplazamiento de las dunas, se proponen nuevos métodos, como la modelización de las geoformas por medio de la elaboración de mallas tridimensionales, y trabajo de campo para hacer el seguimiento de cada punto de control (Craig, 2000), alcanzándose resultados más exactos que unos años antes, cuando se utilizaban como base los principios establecidos en los modelos teóricos de Bagnold. Otros trabajos en esta línea son los de Brown y Arbogast (1997), Eleveld (1999) o Sauermann *et al.* (2000).

También la línea geomorfológica se ha visto favorecida por el desarrollo de las TIG, que permiten una más certera localización de elementos y, por ello, un mejor ajuste en los datos relativos a la dinámica objeto de estudio. Entre las técnicas encaminadas a conocer los procesos geomorfológicos, han cobrado especial relevancia las relacionadas con la fotogrametría, que permiten corregir las distorsiones geométricas de los documentos originales, tanto las inducidas por los sistemas de captación de datos, como las debidas a las variaciones del relieve (Bird, 1986; Moore, 2000).

Del mismo modo, se ha producido un amplio desarrollo en la integración de otros documentos de apoyo, tales como mapas históricos o imágenes captadas por satélites artificiales (Bird, 1986), que pueden georreferenciarse en un mismo sistema digital. En este sentido, el uso de las técnicas de teledetección permite integrar observaciones difícilmente abordables por otros medios, obteniéndose buenos resultados en la caracterización de elementos ecológicos (Everitt *et al.*, 1999), así como en la determinación de los componentes de la arena, distinguiendo entre los terrestres, con mayor contenido en cuarzo, y los marinos, con carbonatos (White *et al.*, 2001).

En nuestro país, el interés por los sistemas litorales, en general, y dunares, en particular, comienza a finales de los años 60 (Servera, 1997), si bien es el campo de la vegetación el que resulta tener mayores resultados, seguido por los relativos al estudio de la dinámica y las geoformas y, por último, los estudios sedimentológicos. Por su parte, la llegada de las TIG ha permitido un avance en estas investigaciones. En este sentido, destacan los trabajos de Ojeda y Moreira (1987), Ojeda *et al.* (1994), Ojeda (2000), Rodríguez *et al.* (1995), Vallejo *et al.* (2000), Alonso *et al.* (2001), Alcántara-Carrió y Alonso (2000), Suárez y Hernández (1998a) o Fanego *et al.* (1998), en los que se muestra un panorama de evolución en cuanto a las técnicas implementadas, tales como la teledetección, la restitución fotogramétrica digital, la elaboración de modelos digitales de elevaciones, el uso de GPS y de altimetría láser aerotransportada o, finalmente, la definición de unidades sedimentarias eólicas y el estudio de su evolución haciendo uso de los SIG.

Desde una visión más amplia, los análisis relativos a esta dinámica costera, se encuentran actualmente en auge, con el conjunto de los análisis multitemporales, que interesan hoy a la comunidad científica (Camino *et al.*, 1999), cada vez más consciente de la incidencia que la actividad humana está teniendo en la generación de cambios ambientales significativos. Así, los estudios de evolución territorial son, desde hace unos años, una de las líneas que más esfuerzos ha concentrado. Las razones de este hecho hay que buscarlas en varios frentes convergentes: por un lado, un creciente interés por los estudios

relacionados con el medio físico, considerando este tipo de análisis como un elemento clave a la hora de conocer el funcionamiento natural de los ecosistemas, o de los impactos causados por el hombre sobre el medio. Por otra parte, nos encontramos en un momento en el que existe una gran disponibilidad de fuentes gráficas exhaustivas, cuyo número, además, aumenta continuamente. No es sólo por la acumulación en el tiempo de documentos analógicos, como la fotografía aérea, sino por el constante incremento de imágenes digitales, captadas por satélites artificiales de observación de la tierra (Goudie *et al.*, 1981).

La posibilidad de trabajar en entornos digitales ha generado un avance muy significativo, por cuanto permite un gran ahorro en los costes, a la par que ofrece una gran cantidad de herramientas muy útiles para elaborar cálculos que requieran la obtención de resultados precisos. En este sentido, el papel que han jugado los SIG ha sido determinante (Sancho *et al.*, 1993; Naranjo y Hernández, 1995). La aplicación de técnicas de análisis multianual encuentra en estas herramientas un aliado indiscutible (Bosque, 1992), puesto que facilitan el análisis de los datos introducidos en forma de documentos cartográficos. Esta capacidad deriva de la posibilidad de superponer los documentos originales, y obtener, como resultado, un producto que contiene los cambios acontecidos y, lo que es más importante, expresados de forma espacial. Así mismo, los resultados obtenidos presentan una gran fiabilidad, con escasez de errores, debidos a la interpretación o la entrada de la base de datos en el sistema (Sancho y Bosque, 1991).

1.1.2. Características generales de los sistemas dunares

Centrándonos ahora en los elementos claves que caracterizan a estos sistemas, podemos definir como dunas *aquellas formas del relieve que son producto de la acción de transporte y sedimentación eólica, constituidas por materiales de pequeño calibre - arenas o limos- incoherentes* (Criado, 1988, p. 133). Por tanto, su génesis es producto de la actuación de un flujo eólico, por lo que la caracterización del viento es un aspecto clave en su estudio. Su papel como agente de transporte y sedimentación es el que domina a la

hora de modelar las geoformas, en una acción en la que ambos procesos se producen simultáneamente. En cuanto a la sedimentación, la acción del viento se manifiesta en la creación de formas de acumulación, las propias dunas, mediante el continuo aporte de granos de arena. El transporte eólico, por su parte, se manifiesta en el movimiento de estos granos y, con ello, posibilita el avance de esas formas. Desde el punto de vista de la dinámica sedimentaria eólica, este transporte está caracterizado por tres elementos: los mecanismos de transporte, la intensidad de transporte y los parámetros texturales y composicionales de los materiales susceptibles de ser transportados (Alcántara-Carrió, 1999), resultando especialmente importantes el peso específico, el tamaño y la forma de los granos (Watson, 1989).

Por otro lado, es necesario conocer las geoformas que se generan, tanto en relación a las libres, como a las producidas por la interacción de algunos elementos en el tránsito sedimentario. Atendiendo a estos elementos, se establece una primera clasificación de los depósitos según tamaño y geometría. Así, podemos definir los “tipos básicos”: transversales (*barjanas*, cordones *barjanoides* y cordones transversales), longitudinales, parabólicas, domos (entre 1 y 2 metros y sin ninguna cara expuesta al viento), en estrella (producida por la alternancia de varios vientos), *seifs* o *seif* dunes..., denominaciones que dependen básicamente del número de caras y la orientación al viento dominante o a más de un viento. Del mismo modo, se puede establecer la conjunción de más de una geoforma en el espacio, pudiéndose distinguir entre dunas compuestas, que designa a tipos iguales que se superponen, o dunas complejas, cuando se superponen dos o más tipos de dunas (Pye y Tsoar, 1990; Nickling, 1994).

No podemos considerar, sin embargo, que el funcionamiento de un sistema dunar dependa exclusivamente de la interacción de esos elementos naturales. Muy al contrario, el funcionamiento de estos sistemas se encuentra condicionado por la existencia de otros factores, como la vegetación, la humedad ambiental, la pendiente topográfica o la

existencia de obstáculos, tanto relativos a las formas del relieve, como desarrollados por la acción humana.

La vegetación desempeña un papel importante en la estabilización de las dunas, al suponer un freno a la dinámica eólica, al tiempo que un elemento de fijación de los granos de arena por pérdida en la velocidad del flujo portante. Este hecho es sobre todo destacable en las áreas interiores de los sistemas dunares costeros. La distribución de la vegetación suele responder a un modelo caracterizado por la presencia de especies halonitrófilas y psammófilas en los primeros ambientes, inmediatos a la línea de costa (Davies, 1980), que, sin suponer grandes obstáculos a esta dinámica, asumen el papel de generadoras de los primeros depósitos sedimentarios: acumulaciones efímeras que conforman las dunas embrionarias. Estas especies requieren de continuos aportes de arenas y muestran una buena adaptación al estrato móvil donde se ubican, bien presentando raíces verticales y profundas para llegar a la capa freática, bien con sistemas radiculares extensos y superficiales que les permiten aprovechar la humedad ambiental (Paskoff, 1998). Las acumulaciones que generan terminan por conformar, en conjunto y en la playa alta, la única duna diferente de los ámbitos dunares costeros, frente a los desérticos, la primera duna “estable” (*foredune*), cuya geomorfología está condicionada por el desarrollo de la vegetación (Bauer y Sherman, 1999).

En los últimos años se aprecia un creciente interés por conocer el papel de la vegetación en la fijación de las dunas (Livingstone y Thomas, 1993). Así, los estudios de campo en los que se relacionan las coberturas de vegetación herbácea con las tasas de transporte de arena señalan que la movilidad del sedimento decrece exponencialmente con la cobertura vegetal, lo que indica una fuerte influencia de ésta en la velocidad umbral y, por ello, en el transporte sedimentario (Lancaster y Baas, 1998). La vegetación desplaza el plano cero, siendo la captación de las arenas, por parte de las raíces superficiales, una de las formas más efectivas de frenar el transporte eólico. Estas raíces están especialmente adaptadas en especies oportunistas, de crecimiento rápido, lo que genera un proceso de

paralización en momentos de alteración de las condiciones sedimentarias del sistema, dado su equilibrio ecológico frágil y vulnerable a cualquier interacción (Carter, 1988). Entre estas especies colonizadoras pioneras, la *Ammophila arenaria* es la más común en sistemas húmedos europeos, siendo la sub-especie *breviculata* la que desempeña su mismo papel en los sistemas dunares costeros orientales de Norteamérica. Ambas se encuentran, no obstante, introducidas en todo el mundo, siendo una práctica extendida su uso para el frenado de la erosión. Por este motivo, se las conoce también como constructoras de dunas (*dune builders*) (Carter, 1988).

Las morfologías dunares que aparecen relacionadas con la vegetación presentan distintas denominaciones, dependiendo de las formas, del tamaño y de la movilidad de los sedimentos. Así, podemos llegar a definir acumulaciones a sotavento (*shadow dunes* – siempre asociadas a la vegetación- o *lee dunes* –que pueden ser generadas por otros obstáculos-) y dunas vegetadas (*hummock* y *sandhills* –montículos de arena-, *heyedogs* - con escasa o nula movilidad y totalmente cubiertas por vegetación herbácea- y *coppice dunes* –retenciones de hasta dos metros de altura-; *nebkhas* y *rebdou* –estos dos últimos términos son adaptaciones lingüísticas de nombres locales, al igual que *barjanas* o *seifs*, cuando nos referimos a formas libres-) (Pye y Tsoar, 1990; Nickling, 1994). Cuando la vegetación consigue frenar formas libres lineales (transversales o longitudinales) reciben el nombre de dunas lineales vegetadas (*vegetated linear dunes*). Cuando este fenómeno se produce en las primeras acumulaciones (*foredunes*), se denominan *retention ridges* (Nickling, 1994). Por último, en el interior de los sistemas dunares, se denomina cordones de precipitación (o de caída) (*precipitation ridges*) a aquellas formas libres, de gran tamaño, que cabalgan sobre una base vegetada, sin que ésta pueda oponer resistencia a ser cubierta por las arenas (Pye y Tsoar, 1990).

Aparte de las propias dunas, el elemento que explica en mayor medida la distribución de las comunidades vegetales en las dunas costeras es la sal contenida en los suelos (Wilson y Sykes, 1999). Este hecho es de suma importancia, dado que la distribución de las

especies vegetales puede llegar a condicionar el tránsito de los sedimentos por un campo de dunas, hasta la total paralización.

La salinidad está, a su vez, directamente relacionada con la capilaridad de las arenas, dado que el agua, en las depresiones interdunares, se vuelve muy salina por evaporación y se generan evaporitas, con estructuras caracterizadas por la presencia de costras salinas (Pye y Tsoar, 1990). Estas costras salinas constituyen uno de los elementos más resistentes a los procesos de erosión de los suelos por deflación, especialmente cuando están presentes sales de sodio o carbonato cálcico, y presentan un porcentaje de finos alto o muy alto (Rice y McEwan, 2001).

En suelos que no presentan estas características, principalmente debido a un menor porcentaje de finos, los procesos de erosión eólica pueden dar lugar a depresiones de deflación, en las que el factor que controla la profundidad (o el nivel base) es el nivel freático local (Tarbuck y Lutgens, 2000).

Los suelos salinos generalmente se encuentran en áreas que reciben sales, siendo el agua el principal factor implicado en el transporte. Especialmente importante resulta el transporte superficial en las regiones áridas, así como en las áreas de depósito de las cuencas de drenaje, dado que reciben el lavado de los materiales situados aguas arriba en la cuenca. Para los suelos de costa, además, el mar supone una fuente de sal inagotable, produciéndose el aporte de tres formas: la primera es la “sal cíclica”, que proviene del spray marino; las otras dos implican aportes más directos y son los producidos por las aguas, tanto superficiales como subterráneas. En este último caso, hay que considerar que las aguas se encuentran en contacto con materiales que pueden haberse formado en un contexto marino. La mayor concentración de sales se produce, además, en los niveles más elevados del acuífero, de modo que cuando una capa freática se eleva, el agua subterránea se mueve hacia arriba, pudiendo alcanzar la superficie del suelo (Richards, 1973).

Así, la caracterización de los primeros horizontes del suelo resulta una labor adecuada, por cuanto permite identificar, en relación con la vegetación, los principales hábitats potenciales, lo cual tiene una importancia decisiva en la evolución de la dinámica sedimentaria eólica.

Del mismo modo que la vegetación, cualquier elemento que se interponga en el tránsito de las arenas, supone una alteración en los procesos que controlan la dinámica eólica. En este sentido, el funcionamiento físico de los vientos, al chocar contra un elemento, posibilita que la acumulación de sedimentos se realice justamente en las dos caras más directamente relacionadas con el flujo: en la de barlovento, por la caída de los sedimentos cuando el flujo pierde velocidad; en la de sotavento, por la necesidad del flujo de rodear al objeto en cuestión, perdiendo con ello más velocidad y facilitando, por tanto, la pérdida de los pocos sedimentos en suspensión que han quedado. Así, tras el objeto, queda un “pasillo eólico”, en forma de “V”, donde las arenas se acumulan en la parte central, la directamente posterior al obstáculo, mientras que en los laterales se produce la aceleración eólica, determinando formas de erosión eólica –deflación–.

Igualmente, pero con mayores consecuencias, puede funcionar un elemento de grandes dimensiones que se sitúe de forma perpendicular a la dirección de los vientos. En este caso, el flujo se vería forzado a dividirse: por una parte, estaría obligado a rodear el objeto, produciéndose una importante variación en su dirección y, por tanto, en la dirección del tránsito de los sedimentos; por otra, el flujo rodearía el objeto por encima, produciéndose el paso libre de sedimentos en suspensión, pues éstos habrían quedado en la cara de barlovento del obstáculo. De cualquier forma, tras éste, entraríamos en una zona de “sombra eólica” donde el viento no tendría capacidad para transportar sedimentos, salvo cuando presentara rachas muy fuertes y, aun así, sólo podría transportar los sedimentos que ya se encuentran en la cara de sotavento, no pudiendo realizar nuevos aportes (Alcántara-Carrió, 1999).

Entre las formas dunares cuyo origen se relaciona con la presencia de dichos obstáculos, destacan las condicionadas por elementos geomorfológicos de gran envergadura. Así, encontramos dunas rampantes o ascendentes (*climbing dunes*), dunas eco (*echo dunes*) – relacionadas con la presencia de un vórtice en el frente del obstáculo, que impide el ascenso de las formas sedimentarias-, dunas de techo de acantilado (*cliff-top dunes*) y dunas de caída (*falling dunes*) (Pye y Tsoar, 1990). Por último, otro tipo relacionado con la presencia de un obstáculo, que produce una variación lateral en el flujo eólico, es la duna en herradura (*horseshoe vortex*) (Nickling, 1994).

1.1.3. Fragilidad de los sistemas dunares litorales y necesidades de gestión

Una de las primeras cuestiones a destacar, respecto a la fragilidad de los sistemas dunares litorales, es la presencia de mayor cantidad de impactos en ellos que en sus homónimos continentales (Thomas, 1999). Las razones de este hecho hay que buscarlas en que suponen espacios atractivos para el ser humano, principalmente por su alta fertilidad y ubicación en las áreas litorales, las zonas más pobladas del planeta. Pero, al mismo tiempo, suponen el escenario donde se desarrollan procesos naturales que, durante décadas, se ha considerado necesario controlar, dado los efectos negativos que suponen para la sociedad (ocupación de terrenos de cultivo, de vías de comunicación...) (Nickling, 1994). En los últimos años se asiste a una preocupación palpable, desde distintos ámbitos sociales, por la desaparición de algunas de estas áreas. Este mensaje ha encontrado eco en el mundo científico, que se plantea, cada vez más, la necesidad de abordar estudios en estos ambientes, entre cuyos objetivos se encuentre el análisis de los impactos antrópicos. En la actualidad se establecen índices de vulnerabilidad, especialmente diseñados para estos espacios, considerando dos tipos de impactos, los temporales y los permanentes (García *et al.*, 2001).

Entre las actuaciones humanas que condicionan el funcionamiento de un sistema dunar, y que pueden llevar a la pérdida de estos espacios, se encuentra la interacción de obstáculos en la dinámica eólica. Pero, dada la alta fragilidad que presentan estos sistemas, la lista de

actuaciones negativas para el sostén de los procesos geo-ecológicos que los caracterizan es notable. Así, cabría señalar el bloqueo del transporte de arenas por infraestructuras en las playas que actúan como trampas de sedimentos hacia el sistema, con efectos que pueden seguir manifestándose incluso mucho tiempo después de que la construcción humana haya perdido su utilidad (Paskoff y Ouelati, 1991; Paskoff, 1998); la construcción incontrolada de zonas urbanas y de usos recreativos asociados en los ambientes eólicos próximos a la costa, que pueden llegar a suponer su total destrucción (Paskoff, 1993; Jaramillo, 1986); los incendios (Lesica y Cooper, 1999); las extracciones de áridos (Sanjaume y Pardo, 1991); la ocupación por áreas de cultivo (Thomas, 1999); la destrucción de la vegetación por la creación de caminos y pistas (Sanjaume y Pardo, 1991); el pastoreo (Lesica y Cooper, 1999); el establecimiento de áreas de acampada o circuitos para vehículos deportivos (Paskoff, 1993); la introducción de fauna silvestre (conejos) (Garson, 1985; Lesica y Cooper, 1999; Thomas, 1999); la existencia, dentro del espacio dunar, de escombreras, basureros o áreas industriales, el desarrollo de maniobras militares (Paskoff, 1993); la instalación de parques eólicos (Alcántara-Carrió, 1999); la alteración de las condiciones de viento y los cambios globales (Thomas, 1999).

La interacción de varios de estos factores con los ambientales implica un grado considerable de sinergia, de modo que el transporte se ve alterado, siendo esta alteración mayor que la que se derivara de la suma por separado del efecto de cada factor (Alcántara-Carrió, 1999). Este efecto sinérgico puede llevar a la alteración sustancial del funcionamiento del sistema dunar y a la ruptura de su equilibrio ecológico, al interferir en la sucesión y en la dinámica de la vegetación (Lesica y Cooper, 1999).

Un sistema dunar comienza a dejar de funcionar como tal al producirse la fijación de las dunas que lo caracterizan, a causa de una falta de alimentación. Generalmente ésta se produce cuando la pérdida natural de arenas por los sectores más alejados de la línea de costa no se ve compensada por nuevos aportes marinos. En este sentido, la interposición de algún obstáculo entre un banco de arenas submarino y un área de depósito de

sedimentos, como una playa, supone una merma en la cantidad de sedimentos que finalmente serán depuestos. Este hecho es debido al freno que supone dicho escollo a la corriente marina, la cual, al frenar su velocidad, no es capaz de seguir transportando los sedimentos en suspensión, que caerán atraídos por la fuerza de la gravedad, facilitando, por tanto, su deposición. De igual manera sucede si se interpone algún elemento de grandes dimensiones a la corriente de deriva, pues la acumulación de éstos se realizaría antes de llegar a su área de descarga original (Servera, 1997).

Podemos concluir, a la vista de los párrafos precedentes, que los sistemas dunares presentan una alta fragilidad, dado que cualquier elemento que se interponga en el tránsito de los sedimentos (en el flujo eólico, o en las corrientes marinas), supone una alteración en el funcionamiento natural del sistema. Precisamente, aprovechar esta debilidad fue la tónica general durante siglos en todo el mundo, cuando los espacios dunares eran considerados elementos amenazadores para el desarrollo de la civilización, al invadir las arenas litorales las áreas agrícolas asentadas tierra adentro. De este modo, durante los siglos XVII y XIX se ejecutan proyectos, en distintas partes del mundo (Francia, Prusia, África del norte, Chile o Australia), para la fijación de las dunas litorales mediante plantación de coníferas (Parkoff, 1993).

Sin embargo, en la actualidad, el panorama es otro, como consecuencia del nacimiento de nuevos problemas, asociados principalmente al uso público de las áreas litorales, como espacios de ocio y turismo. En este sentido, la inexorable atracción humana que representan, ha convertido a estos espacios en focos de intensos procesos de desarrollo de actividades recreacionales. Este hecho ha supuesto la construcción de los frentes litorales, lo que ha conllevado severas transformaciones en los flujos marino y eólico y, con ello, se han incrementado los problemas de erosión en las playas. Los sistemas dunares pierden el equilibrio sedimentario cuando se inestabiliza la primera línea de dunas (*foredune*), elemento que resulta indispensable para la protección de la costa (Bauer y Sherman, 1999).

Los procesos de erosión generados con la desaparición de estas primeras acumulaciones sedimentarias terminan poniendo en peligro algunas áreas ubicadas tierra adentro, en muchos casos por la falta de conocimientos sobre procesos erosivos en estos ambientes y, de igual forma, por la aplicación de medidas correctoras de forma indiscriminada, sin atender a las especificaciones de cada caso (Paskoff, 1993).

En los últimos decenios se plantea la consideración de los espacios dunares litorales como elementos naturales a proteger (Kay y Alder, 1999). En Europa se toma conciencia de esta idea a partir de los años 70 del pasado siglo, debido a la detección de fallos en la protección de los espacios litorales. Esta reacción viene como consecuencia de la preocupación que surge, ante la falta de respuesta de las administraciones, a la desaparición de muchos espacios dunares y litorales, debido a su ocupación por parte de los proyectos de desarrollo urbanístico, especialmente con fines turísticos (Nonn, 1971). Estas acciones tuvieron consecuencias rápidamente: en muchos casos, la pérdida de las primeras líneas de dunas, que funcionaban de barreras contra el mar, permitió que éste invadiese las áreas interiores, anegando espacios ocupados por otros usos humanos. Las medidas correctoras, tomadas de forma dispersa por distintas administraciones, produjeron, en muchos casos, pérdidas aún mayores: la aplicación rutinaria de técnicas de contención artificiales, sin los necesarios estudios sobre las particularidades de cada caso, tenían como consecuencia procesos de sedimentación con excesos, o defectos, en la acumulación de las arenas, como consecuencia de la ruptura del equilibrio sedimentario (Paskoff, 1993).

Finalmente, las resoluciones oficiales del Consejo de Ministros de la CEE en 1973, y de la OCDE en 1976, sobre la protección de los espacios litorales, posibilita el desarrollo de numerosos marcos legales nacionales en nuestro actual ámbito administrativo (Paskoff, 1993). En la actualidad, la clasificación de estos sistemas como áreas protegidas, en las que se garantice el mantenimiento de los procesos naturales que los caracterizan, es una

tónica general en este ámbito, aunque resulta ser una medida insuficiente y meramente nominal, dado que en muchos casos no se logra el objetivo de la pervivencia del sistema.

Entre las líneas de gestión desarrolladas en los sistemas dunares litorales se plantean dos principales: la primera trata de realzar la utilidad de estos espacios; la segunda, de rectificar los aspectos negativos. Ambas encuentran un punto de coincidencia en la gestión ambiental, que intenta llevar a buen puerto la corrección de los impactos ambientales, al tiempo que pretende la modificación de los sistemas naturales, con el fin de favorecer las metas humanas, dentro de una clara posición a favor del desarrollo sostenible. Entre las acciones desarrolladas para la salvaguarda de estos sistemas, se establece como prioritaria la protección de los ambientes “primarios”, es decir, los relacionados directamente con las dunas costeras (*foredune* y embrionarias), quedando, en segundo lugar, la protección de los ambientes “secundarios”, caracterizados por la presencia de dunas que, siendo costeras en origen, han sido remodeladas y expuestas a procesos de edafogénesis, por lo que en muchos casos presentan cobertura vegetal (Thomas, 1999). Entre las acciones a desarrollar caben la modificación de los aportes de sedimentos, de las características del viento, de la vegetación y de las acciones humanas (Thomas, 1999).

En este sentido, son de interés los estudios encaminados a la búsqueda de técnicas alternativas a las usadas tradicionalmente, especialmente en el ámbito de las estructuras, que, en muchos casos, crean más problemas que los que solventan (Charlier y De Meyer, 2000): barreras contra la erosión costera e inundaciones a través de técnicas naturales, que permitan el desarrollo de hábitats ecológicos, son algunas de las nuevas propuestas (Bauer y Sherman, 1999). Entre ellas, cabe destacar los programas desarrollados en Israel para la estabilización y fijación de las primeras líneas de dunas, a través de la creación de barreras naturales mediante la plantación de ejemplares de *Tamarix articulata* (Pye y Tsoar, 1990), o de las ya mencionadas “constructoras de dunas” (*Ammophila sp.*).

De cualquier forma, la protección de los sistemas dunares litorales debe obedecer a técnicas individualizadas, obtenidas de modelos de funcionamiento que tienen que ser elaborados para cada sistema en particular. Para Komar (1998), el mantenimiento del equilibrio sedimentario pasa por varias posibilidades: 1) la no realización de acciones, en caso de que exista un equilibrio estable; 2) la retirada de los elementos que pudieran estar interfiriendo en la dinámica sedimentaria eólica; 3) la alimentación del sistema en caso de que se hubiese producido una ruptura del equilibrio sedimentario, en lo que podemos denominar como una “solución suave”; 4) la estabilización del sistema a base de medidas estructurales, cuando ya fuese inviable proceder a alguna de las otras soluciones indicadas, en lo que se denomina “la solución severa” (Komar, 1998).

1.2. Canarias: los sistemas dunares y su protección

1.2.1. Aproximación a los sistemas dunares de Canarias

Los sistemas dunares de Canarias se encuentran emparentados con los campos de dunas litorales que se localizan en las regiones templadas y subtropicales, como los de la Europa noroccidental, los estados de Oregón y California, en Norteamérica, Chile central, Namibia, sudeste de Madagascar y Australia central. Estos campos dunares se caracterizan por la presencia de formas libres, sin fijación vegetal, semejantes a las de los espacios dunares continentales, en los que el recorrido de las geoformas es mayor a los que presentan otras áreas del planeta, y la vegetación tiene un papel más destacado en la fijación de las dunas (Paskoff, 1993).

La distribución en Canarias de los espacios dunares se encuentra estrechamente relacionada con la historia natural del Archipiélago, de modo que la mayoría de estas áreas se localizan en las islas orientales, dada la mayor antigüedad de los materiales subaéreos que las conforman y la existencia de plataformas sumergidas someras. Esta mayor antigüedad implica, igualmente, una mayor duración de los procesos de erosión en estas islas, frente a las occidentales, lo que ha posibilitado la existencia de mayores plataformas costeras y depósitos submarinos (Carracedo, 1988). De cualquier manera, la

totalidad de los espacios dunares responde a la tipología litoral, tanto en cuanto a las formas que presentan una dinámica actual, como en cuanto a las que son producto de procesos eólicos acaecidos en el pasado geológico (Criado, 1988).

En relación a estos últimos, en la totalidad de las islas existen áreas de depósitos de arenas que, en muchos casos, responden a antiguos sistemas dunares o, al menos, a la existencia de formas dunares que se muestran como dunas fósiles. Tanto unos como otras son fácilmente identificables cuando se presentan formando estratos que han quedado expuestos por la erosión mareal (Yanes, 1988). Estos depósitos se convierten en importantes fuentes de información en la búsqueda de respuesta a algunas cuestiones claves en el conocimiento de la Geología y Geomorfología canarias. Así, informan sobre la existencia de distintas épocas de actividad cíclica del volcanismo, con períodos intermedios en los que dominan los procesos erosivos y sedimentarios. Precisamente, la existencia de materiales de origen orgánico permite datar los estratos y, con ello, establecer los períodos de actividad volcánica y erosiva de las islas. Por otro lado, estos sedimentos permiten identificar y datar los diferentes niveles marinos que han existido en esta parte del Atlántico, debido a movimientos eustáticos, relacionados con los períodos glaciares e interglaciares (Meco, 1977).

Algunos de estos depósitos, formados en épocas más recientes, no aparecen intercalados entre coladas, sino cubriendo plataformas de materiales más antiguos. Éstos se han originado tras la última regresión, quedando sobre plataformas generalmente acantiladas, debido al trabajo desarrollado por la erosión marina en épocas recientes. Tanto en estas áreas como en algunas superficies de abrasión marina actuales, donde existen playas, es posible identificar dunas aisladas debidas a una acumulación incipiente de arenas, favorecida por la existencia de algún escollo, pero que no llegan a adquirir dimensiones considerables ni a formar sistemas dunares propiamente dichos (Yanes, 1988).

Entendiendo, pues, los sistemas dunares como áreas activas de dinámica eólica, estos tienen una amplia representación en las Canarias orientales. Sin embargo, algunos son de escasas dimensiones, aunque presentan geoformas actuales o recientes, producidas por la movilidad y acumulación de las arenas a causa del viento. Probablemente, lo reducido de su superficie y su escasa movilidad actual explican que todavía no hayan sido objeto de investigaciones en profundidad.

Los espacios dunares de mayores dimensiones de las Canarias orientales se encuentran representados por El Jable, en Lanzarote, el Istmo de Jandía y Corralejo, en Fuerteventura y las Dunas de Maspalomas e Istmo de Guanarteme, en Gran Canaria. De todos estos espacios, el Istmo de Guanarteme ha cesado su actividad como consecuencia del proceso urbanizador de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria, quedando como único elemento testigo la playa que suponía la entrada de los sedimentos, las Canteras. Esta playa mantiene su papel activo, al configurarse como el área de entrada de sedimentos en el sistema, de lo que se deduce un proceso de acumulación sedimentaria, al haberse producido el bloqueo en el tránsito de las arenas (Alonso, 1993). En relación al Jable, se trata de un ámbito escasamente estudiado en cuanto a la dinámica sedimentaria. El campo dunar atravesaba la isla de Lanzarote de norte a sur, pero hoy día los depósitos se encuentran muy alterados en algunos sectores; por otra parte, el desarrollo de la cobertura vegetal ha reducido drásticamente la dinámica del sistema, por lo que existen escasas formas dunares, y son las láminas de arena las geoformas dominantes.

Por su parte, el Istmo de Jandía presenta escasez de sedimentos arenosos en relación con la mayor capacidad de transporte eólico, por lo que no existen conjuntos dunares complejos, sino dunas individuales que, de forma independiente, se muestran móviles, de acuerdo con la dirección y velocidad del viento (Alcántara-Carrió, 1999). Los depósitos dunares que afloran en la costa de Barlovento han sido descritos como pliocenos, y como del Pleistoceno Superior los localizados en el interior del sistema (Meco, 1993), de acuerdo con dataciones relativas. Sin embargo, el recubrimiento generalizado por un

manto eólico de arenas bioclásticas (Höllermann, 1990) permite identificar un dominio de los procesos eólicos durante el Holoceno. Los estudios sedimentológicos de estos materiales han permitido concluir que proceden de la erosión de los depósitos más antiguos, lo cual da muestras de la inexistencia de entradas de sedimento actuales desde la costa de Sotavento (Alcántara-Carrió, 1999). Los asentamientos turísticos y otras actividades humanas han alterado claramente el flujo sedimentario, y se presenta un grave riesgo de erosión de las Playas de Sotavento.

Corralejo está constituido por depósitos sedimentarios del Pleistoceno y Holoceno. En relación a los primeros, son consecuencia de las distintas oscilaciones del nivel del mar, intercaladas por erupciones volcánicas que contribuyeron a la conservación de los depósitos arenosos (Criado, 1987). Las principales características del paisaje actual han sido definidas en función del tipo de vegetación (Fernández *et al.*, 1982) , así como atendiendo a criterios geomorfológicos (Criado, 1987). Este último autor establece, además, la tipología de las formas de las dunas actuales y propone un esquema sobre la dinámica sedimentaria.

Todos los espacios dunares canarios, sin excepción, se hayan fuertemente tensionados por el desarrollo urbano-turístico, que se ha acelerado en las últimas décadas. En los últimos años se detectan distintas consecuencias de la alteración de estos sistemas, que en algunos casos presenta ya huellas imborrables (Suárez y Hernández, 1998b). Por tanto, el último siglo ha sido decisivo a la hora de poder evaluar la situación que los sistemas dunares de Canarias presentan hoy, al haber supuesto para éstos un período en el que su alteración fue muy intensa. Las causas están relacionadas con la continua interferencia que el modelo turístico-inmobiliario imperante ha ejercido sobre la dinámica natural de estos sistemas. Ésta se ha desarrollado de maneras diversas, en parte heredadas del pasado, como el asentamiento urbano en áreas costeras cercanas a estos espacios que, en algún caso, han terminado por ocupar el propio sistema. Especialmente notable ha sido la ocupación de la franja supralitoral, así como las zonas de mareas y fondos someros, para

el desarrollo de urbanizaciones y equipamientos turísticos y deportivos, a partir de los años 70, cuando se desarrolla en Canarias el “boom” turístico (Aguilera *et al.*, 1994). De igual forma, otras actividades, en principio no tan extremas de cara a la supervivencia de estos espacios, han supuesto serias afecciones, como son la elección de estas áreas para la realización de extracciones de áridos.

1.2.2. La protección de los sistemas dunares en Canarias

La preservación de los tres “grandes” espacios dunares supervivientes ha sido una prioridad para la sociedad canaria desde el momento en que adquiere las competencias en materia de protección del Medio Ambiente. Así, estos espacios se encuentran en la actualidad al amparo de algunas de las figuras de mayor rango de protección legal que establece la legislación autonómica, como es el Decreto Legislativo 1/2000, de 8 de mayo, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley 9/1999, de 13 de mayo, de Ordenación del Territorio de Canarias y la Ley 12/1994, de 19 de diciembre, de Espacios Naturales de Canarias.

De esta manera, el Parque Natural de Corralejo, con una superficie de 2.668,7 has, protege un ambiente costero caracterizado por la presencia de dunas organógenas que circulan desde las playas del N y NE hacia el SE (Criado, 1988), sobre las coladas de uno de los núcleos eruptivos más recientes de la isla (el Bayuyo), donde se desarrollan representantes de especies vegetales de gran importancia, como la uvilla (*Zygophyllum fontanesii*) o la brusquilla (*Suaeda vera*) y da alojamiento, así mismo, a una de las especies animales más representativa y escasa en las Islas Canarias, la hubara (*Chlamydotis unudulata*), un ave esteparia endémica de Lanzarote y Fuerteventura (Martín *et al.*, 1995).

La presencia de infraestructuras turísticas en el sector costero de este espacio, la existencia de una carretera que lo recorre de norte a sur, que interfiere en la dinámica

eólica del sistema, y el incremento superficial del núcleo urbano de Corralejo en los últimos años, son algunos de los problemas que amenazan a este ambiente dunar.

Por su parte, el Parque Natural de Jandía, con 14.318,5 has, protege a la península del mismo nombre, que se encuentra conectada al resto de la isla por un istmo caracterizado por la presencia de arenas organógenas móviles, que circulan siguiendo una dirección NE-SO (Alcántara-Carrió, 1999). Los principales problemas que presenta hoy en día este sector son la presión debida a la existencia de núcleos turísticos cercanos, que limitan la circulación de las arenas, incluso con la plantación de especies arbóreas; la utilización del espacio como área de ocio para el desarrollo de actividades relacionadas con el motor, así como las extracciones ilegales de áridos que se desarrollan principalmente en el barranco de Pecenescal, interfiriendo directamente con la dinámica de los sedimentos (Martín *et al.*, 1995). Por otra parte, la presencia en el espacio de una estación de aerogeneradores se añade a la lista, como uno de los impactos más importantes que sufre este espacio (Alcántara-Carrió, 1999).

Por último, la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas, con una superficie total de 403,9 has, se caracteriza por proteger una amplia extensión de dunas que se ubican sobre una plataforma sedimentaria en la desembocadura de los barrancos que configuran la cuenca de Fataga. Igualmente, esta figura da protección a un enclave particular, la charca de Maspalomas, lugar que albergó en el pasado una importancia estratégica para las aves migratorias, y que hoy mantiene un papel destacado por la presencia de aves y especies vegetales asociadas a ámbitos lacustres. El desarrollo turístico de este sector es el principal problema que se detecta, una cuestión que ha condicionado la evolución natural del sistema al interferir de forma muy significativa en la dinámica eólica.

1.3. Introducción al sistema dunar de Maspalomas

Se procede en este apartado a presentar los rasgos generales que definen a este espacio dunar. Para ello, en primer lugar, se justifica su elección como área de estudio y, seguidamente, se procede a su caracterización. Este segundo ejercicio se ha realizado atendiendo exclusivamente a la bibliografía existente hasta el momento de redacción de este trabajo de investigación. Sin embargo, en relación a determinados aspectos del medio físico y natural (como viento, materiales geológicos, vegetación o funcionamiento del sistema), únicamente se trazan los rasgos generales, dado que algunas de estas cuestiones forman parte de esta investigación, por lo que se presentarán en los primeros capítulos relativos a resultados.

1.3.1. Justificación del área de estudio

El sistema dunar de Maspalomas es, sin lugar a dudas, uno de los espacios más singulares del Archipiélago Canario. Basta con acudir a la bibliografía, ya sea ésta científica, ya didáctica o de divulgación, para comprobar la proliferación de escritos sobre un área de tan escasas dimensiones. Este hecho está relacionado, directamente, con la complejidad de un espacio en el que coexisten una gran cantidad de intereses y valores. Éstos últimos derivan de unas características naturales únicas, donde arena, viento y agua, de una parte, junto a plantas y aves, de otra, han creado un singular sistema. Estas características aumentan la complejidad de los procesos ecológicos y, con ello, la fragilidad del espacio y la importancia de los impactos que se puedan desencadenar por actuaciones humanas.

Por otra parte, se trata de un espacio donde el desarrollo turístico ha generado un importante impacto, a partir de su interacción con los procesos ecológicos. Si bien es cierto que otros espacios litorales presentan huellas debidas a impactos producidos por acciones antrópicas (extracciones de áridos y edificaciones en Jandía, o proliferación de urbanizaciones en el entorno de Corralejo), en ningún caso su desarrollo alcanza todavía las dimensiones que presentan en Maspalomas.

Finalmente, se trata de un espacio con una gran repercusión socio-económica, hecho que se manifiesta en la gran cantidad de artículos periodísticos que se hacen eco de cualquier “anomalía” que se produzca en el sistema, al ser éste la cuna del desarrollo turístico en el sur de la isla y, en buena parte, un garante del sostenimiento actual de la economía insular.

Precisamente, su elección como objeto de esta investigación posibilita el desarrollo de un estudio sobre el funcionamiento temporal de un espacio dunar complejo, así como sobre la interacción entre el desarrollo turístico y su dinámica sedimentaria eólica. Con ello, permite evaluar un modelo que puede ser aplicado, tras sus necesarios ajustes, al estudio de la evolución temporal en otros espacios que, aunque no manifiesten por el momento los desajustes que se hacen patentes en Maspalomas, podrían presentar tales problemáticas en el futuro si no se toman las debidas precauciones para no interferir en dicha dinámica.

1.3.2. Rasgos generales

El sistema dunar de Maspalomas se localiza en el vértice sur de la isla de Gran Canaria, entre los 441.400 y los 444.500 E y los 3.067.750 y los 3.070.500 N (figura I.2). Con una superficie aproximada a los 4 km², se corresponde con una antigua desembocadura de barrancos que adopta una forma deltaica pentagonal, cubierta en superficie por depósitos de origen eólico-marino (I.T.G.E., 1990). Esta llanura, con una superficie de 152 km² (la segunda en extensión de la isla), está formada por la unión de varios barrancos que surcan la rampa fonolítica del sur: el principal es el de Fataga, al que se unen una serie de afluentes: Los Vicentes, La Data -también denominado barranco de Ayagaures-, Chamoriscán, La Negra y El Negro -que también recibe el nombre de barranco de Maspalomas-.

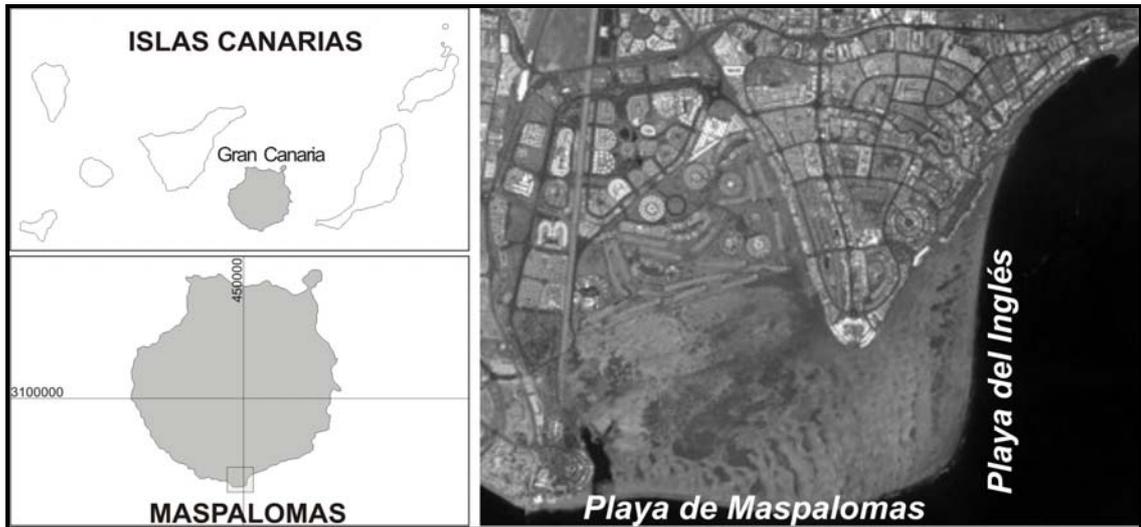


Figura I. 2. Localización y vista general del área de estudio

1.3.2.1. Medio natural

En cuanto a su caracterización climática, nos encontramos en un ámbito de gran sequedad, al estar localizado en la costa sur de la isla y, por ello, alejado de la influencia directa de los vientos húmedos del noreste, los alisios, y del manto de estratocúmulos que éstos transportan. El estancamiento de esa masa nubosa (mar de nubes) en la vertiente norte es el origen del elevado número de horas de sol, y de las elevadas y constantes temperaturas anuales en este sector de la isla.

La precipitación media es inferior a los 100 mm anuales y se caracteriza, además, por la existencia de un gran número de años secos, sólo interrumpidos por unos pocos años con lluvias torrenciales. Las precipitaciones se concentran en períodos cortos (10-15 días al año) durante los meses de febrero y noviembre, mientras que junio, julio y agosto son los meses más secos (figura I.3).

La temperatura media anual es de 23,5° C. En cuanto a las medias, presentan una escasa amplitud térmica, aunque no así en cuanto a las máximas absolutas, que oscilan entre los 18 y 24° C del invierno y los 30 y 44° C del verano. La cercanía al mar determina altas tasas de humedad, que oscilan entre 71% y 75%, dependiendo del tipo de viento

dominante. La nubosidad media es de 259 días despejados al año, 87 nublados y 13 cubiertos, concentrándose estos últimos entre los meses de diciembre y marzo. Los más soleados se registran entre los meses de junio a septiembre (Nadal y Guitián, 1983; Naranjo, 1999).

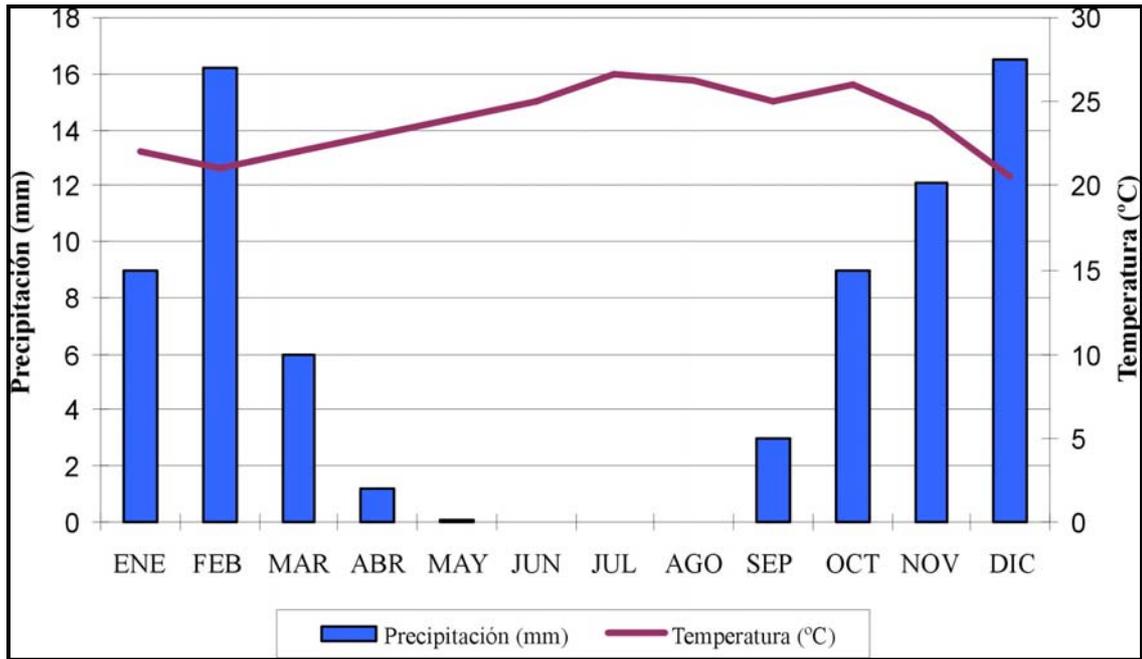


Figura I. 3. Distribución mensual de las precipitaciones y las temperaturas medias (Fuente: I.N.M.)

En relación a los vientos, los estudios realizados hasta la elaboración de esta investigación en los que se procede a la caracterización de este factor, han sido principalmente los de Nadal y Guitián (1983), Martínez *et al.*, (1986), Martínez (1990) y Naranjo (1999). De forma general, estos trabajos indican que en esta área son dominantes los vientos alisios, de NE, aunque sufren una desviación hacia el este por el obstáculo que supone el macizo de la isla. De esta forma se explica que el desplazamiento principal de las dunas se realiza en la dirección NE-SO. Dada la relevancia que tienen para esta investigación, la ampliación de estos datos se abordará en otro capítulo.

En cuanto a los materiales que afloran en la zona de estudio y sus alrededores, indicaremos que son muy variados tanto en su naturaleza petrológica como en edades de formación (ITGE, 1990). Así, los barrancos que constituyen la cuenca de Fataga, y que desembocan en Maspalomas, se encajan en rocas ígneas del I ciclo magmático o Antiguo de Gran Canaria (Mioceno, de 14,5 a 8,5 m.a.), donde predominan las coladas lávicas e ignimbritas de las Formaciones traquítico-riolítica y Fonolítica (de 14,1 a 9,6 m.a.). Igualmente, aparecen rocas sedimentarias, conglomerados y areniscas, del Miembro Inferior de la Formación Detrítica de Las Palmas (Mioceno, de 8,5 a 5,3 m.a.). También se encuentran materiales volcánicos del II ciclo magmático o Roque Nublo, especialmente rocas ultrabásicas y básicas de la Formación del Tablero (Plioceno Superior, de 5,3 m.a.) y facies deslizadas de la Brecha Roque Nublo (Plioceno Superior). Contemporáneas con este vulcanismo plioceno, también existen rocas sedimentarias de conglomerados y areniscas del Miembro Superior de la Formación Detrítica de Las Palmas. Hay que destacar que en esta zona no afloran materiales ígneos del III ciclo magmático o Reciente de la isla, pero sí numerosos materiales sedimentarios de edad cuaternaria, entre los que destacan las terrazas y depósitos aluviales, los depósitos marinos fósiles, y los sedimentos litorales del campo de dunas y la playa actual. Por consiguiente, la naturaleza de los sedimentos que afloran en nuestra área es muy variada por la diversidad tan grande de materiales señalados.

En relación a los materiales cuaternarios asociados a la desembocadura del barranco de Fataga (figura I.4), aparece la “Terraza a 50 metros” de altura, constituida por materiales aluviales de diferente granulometría (cantos, arenas y arcillas). Posteriormente, hay un encajamiento de esa Terraza a 50 metros y nueva deposición de materiales aluviales detríticos, dando lugar a la denominada Terraza Baja. Finalmente, una nueva incisión y deposición da lugar a los aluviales que aparecen en el fondo del barranco actual.

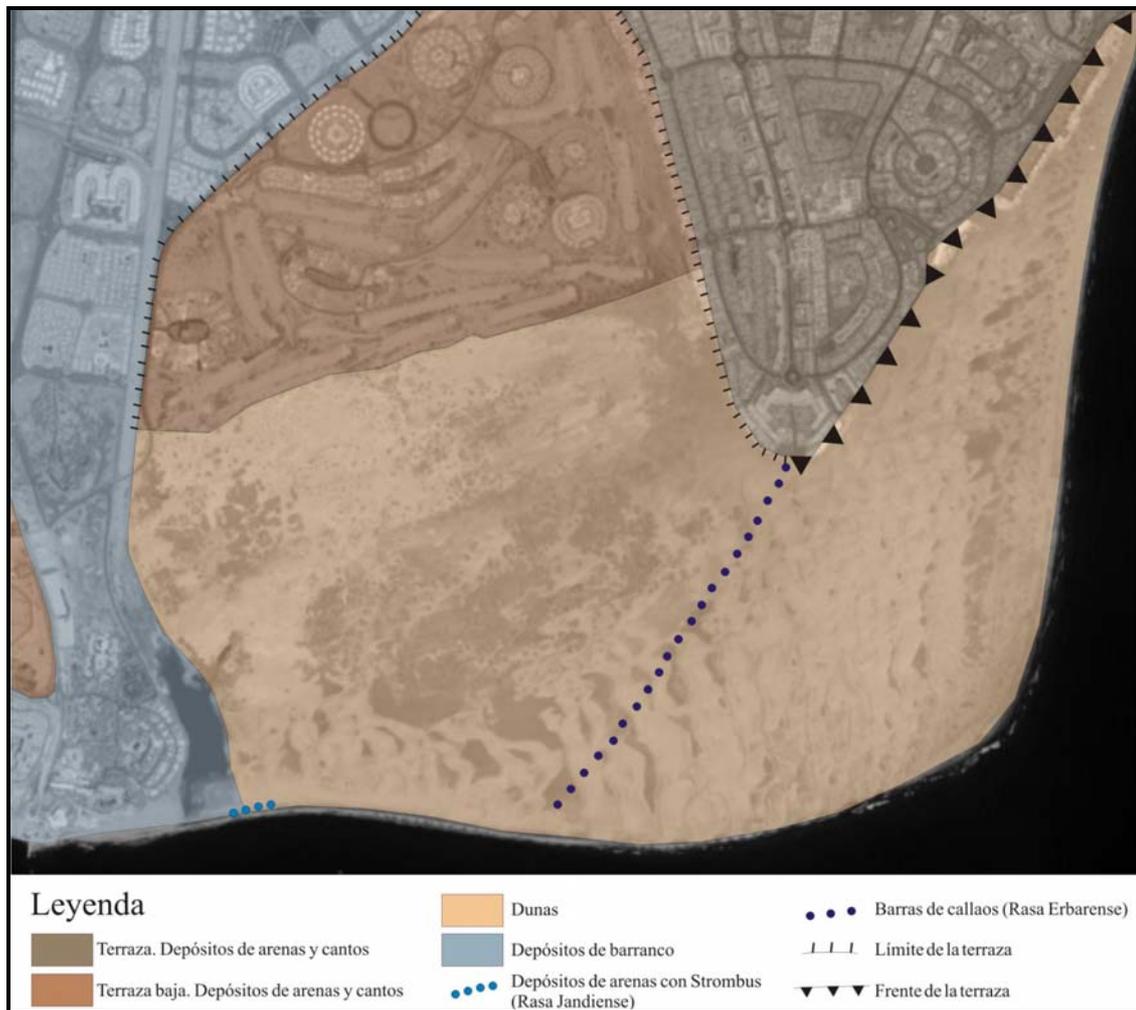


Figura I.4. Marco geológico (Fuente: I.T.G.E., 1990; Naranjo, 1999)

Con relación a los depósitos litorales cuaternarios que aparecen en su desembocadura, señalaremos que durante las glaciaciones cuaternarias (regresiones marinas con descensos de varias decenas de metros del nivel del mar), los sedimentos marinos que se encontraban sumergidos en la zona, fueron movilizados por el viento y se depositaron tierra adentro, dando lugar al campo de dunas actual. Por otro lado, los períodos interglaciares (transgresiones marinas con subidas de varias decenas de metros del nivel del mar) dieron lugar a depósitos marinos de distinta naturaleza, como por ejemplo los

depósitos de arenas jandienses con *Strombus* y las barras erbanenses de arenas y cantos (ITGE, 1990).

En cuanto a la vegetación, Maspalomas se localiza en el piso basal y en el ámbito de la denominada Xerocanaria (Santana y Pérez-Chacón, 1991), lo que nos lleva a identificar la existencia de vegetación propia de un ambiente desértico, con especies adaptadas a la ausencia de recursos hídricos. El hecho de situarse al abrigo de los vientos alisios determina, además, una alta insolación, que unida a la situación costera de la zona, y con gran presencia de arenas, explica la existencia de vegetación adaptada a condiciones de exceso de sal (halófilas) y a este sedimento (psammófilas).

Sin embargo, nos hallamos con un espacio complejo desde el punto de vista ambiental, puesto que en él se localiza no sólo un arenal, sino así mismo, una pequeña laguna litoral asociada a un palmeral, conjunto conocido como “Oasis de Maspalomas”. Este hecho implica la existencia de especies vegetales hidrofíticas (al igual que especies animales asociadas a áreas húmedas, tales como las aves que utilizan el *lagoon* como área de descanso en sus viajes migratorios entre África y Europa). Dado que nuestro interés es el campo dunar y los efectos que el turismo ha tenido sobre éste, nos centraremos exclusivamente en las comunidades vegetales que se localizan en su interior.

La información de la flora y vegetación localizada en el sistema dunar de Maspalomas corresponde a trabajos realizados en dos épocas: la primera, a finales de los años 60, se debe a dos estudios casi coetáneos realizados por Esteve (1968) y por Sunding (1972), cuyo trabajo de campo fue realizado en los años anteriores. Ambos aportan una información de suma importancia para esta investigación y son el punto de partida de nuestro análisis, al haber sido elaborados antes de iniciarse la ocupación urbanística de la zona y, con ello, el proceso de degradación de la vegetación. La segunda época responde a los trabajos de actualización llevados a cabo durante la realización del Plan Director de la Reserva Natural Especial.

Atendiendo a las comunidades descritas por dicho Plan, en el ámbito de playas (Playa del Inglés y el enclave de la Cañada de la Penca, en la Playa de Maspalomas) únicamente aparece el matorral halonitrófilo de balancón (As. *Traganetum moquinii*). Se trata de una comunidad compuesta exclusivamente por el arbusto *Traganum moquinii*, que constituye el primer obstáculo con el que tropiezan los granos de arena arrastrados por el viento. Por su parte, en algunos espacios interdunares del interior del campo de dunas móviles aparecen las comunidades cespitosas de *Cyperus laevigatus ssp. laevigatus* (As. *Cyperetum laevigati*). Son comunidades estrictamente halófilas, dominadas por extensos céspedes muy vigorosos de la ciperácea *Cyperus laevigatus ssp. laevigatus* con pocas especies acompañantes. Se desarrollan sobre las arenas humedecidas por el nivel marino que tanto asciende por capilaridad.

En el sector intermedio, también conocido como “sector de las hoyas”, aparecen los matorrales de *Suaeda vermiculatae* (As. *Chenoleo-Suaedetum vermiculatae*). La caracterización de estos matorrales aparece asociada a la terraza sedimentaria que se ubica a 2 m de altitud. Estos ambientes se encharcan temporalmente cuando se producen importantes precipitaciones, y concentran abundante material arcilloso, presumiblemente con alto contenidos en sales. Esta comunidad presenta un elevado deterioro con abundantes partes muertas en cada ejemplar y con escasas manifestaciones de vitalidad, que denotan años de fuerte sequía y situaciones de estrés hídrico. El panorama se modifica sustancialmente después de buenos años de lluvia.

También en este sector aparecen matorrales con *Juncus acutus*, *Schizogyne glaberrima* y *Launaea arborescens* (As. *Schizogyne-Juncetum acuti*). Es una de las comunidades que presenta mejor salud, al estar asociada al sustrato arenoso consolidado y a la presencia de agua freática dulce o salobre a menos de 1 metro de profundidad. Además de los juncos, salados y aulagas, que dan nombre a la comunidad, aparecen ejemplares en excelentes

condiciones de vitalidad de tarajales (*Tamarix canariensis*) y palmeras (*Phoenix canariensis*).

Los tarajales (*Tamarix canariensis*) se encuentran ampliamente extendidos por el sistema, pudiéndose diferenciar perfectamente aquellos bosquetes o ejemplares de este freatófito con perfecto estado de salud, gracias a la existencia de aguas subálveas a escasa profundidad, de aquellos otros establecidos sobre áreas compactas o zonas con escasa disponibilidad hídrica.

En las zonas encharcadas se dan cita comunidades de vegetación helofítica. En ellas aparecen especies de gran tamaño, como carrizos (*Phragmites australis*), aneas (*Thypha domingensis*) y cañas (*Arundo donax*), así como otras especies hidrófitas como *Juncus acutus* y *Juncus maritimus*. Este tipo de vegetación está directamente asociado a zonas encharcadas de un modo permanente con aguas dulces o salobres, como ocurre en los bordes de la Charca de Maspalomas, pero también en zonas con suelos encharcados gran parte del año, fluctuante en función de cambios en el nivel freático.

El sistema interior se caracteriza por la presencia de una amplia "pradera" terofítica con *Cyperus kalli*, *Ononis serrata* y *Neurada procumbens* (As. *Euphorbio-Cyperetum kali*). Esta asociación forma una comunidad abierta que se extiende sobre las dunas interiores en proceso de fijación. Su desarrollo estacional es óptimo en invierno y primavera, si el año ha sido bueno en precipitaciones, viéndose enriquecido, entonces, por la presencia de otras especies. Sin embargo, en años demasiado secos, la comunidad es poco apreciable, llegando casi a desaparecer en verano y otoño. Como especie introducida que se extiende de un modo muy abundante en esta comunidad destaca la pata camello (*Neurada procumbens*), un pequeño caméfito, inicialmente introducido con los dromedarios traídos del norte de África para las labores agrícolas en el Sur de la isla.

En las áreas más alteradas de los bordes del campo de dunas, como las antiguas parcelas donde se ubicaban el Hotel Dunas y el Centro Helioterápico, se desarrollan comunidades ruderal -nitrófilas incluíbles dentro de las asociaciones *Chenopodio-Malvetum parviflorae* y *Mesembryanthemo-Betetum*, caracterizadas por la abundancia de especies como *Malva parviflora*, *Chenopodium muralis*, *Volutaria canariensis*, *Mesembryanthemum nodiflorum* y *M. crystallinum*.

1.3.2.2. Historia Reciente

El sur de Gran Canaria, ámbito donde se inserta nuestra área de estudio, presenta, hasta los años 60 de este siglo, una estructura de la propiedad muy concentrada. Un solo propietario, el conde de la Vega Grande, es dueño del 37% del municipio de San Bartolomé de Tirajana y sus propiedades, en esta zona, se extienden desde el barranco de Tirajana hasta el de Arguineguín (Nadal y Guitián, 1983).

En relación con el uso del territorio, habría que distinguir dos períodos: el primero de ellos se desarrolla hasta los años 60, siendo el uso predominante el agrícola, orientado a la exportación; a partir de esta fecha, se inicia el segundo período, que perdura hasta la actualidad, en el que el uso del territorio está orientado al desarrollo de una oferta de plazas alojativas para el turismo de masas (Nadal y Guitián, 1983).

Durante la primera etapa señalada, es posible hacer una subdivisión, de modo que encontramos una primera época antes de 1930, donde la principal actividad se desarrolla a través del sistema de “medianeros”, siendo los principales cultivos la cebada y el trigo. Posterior a esta fecha es la irrupción de otro modelo de ocupación del territorio, el arrendamiento, coincidiendo con la aparición de un nuevo cultivo, el del tomate, cuya superficie ocupa hacia principios de los años 60 la casi totalidad de la tierra. Desde 1920 y, de forma progresiva, este cultivo se venía extendiendo desde el Valle de los Nueve, en Telde, hacia el sur. (Nadal y Guitián, 1983).

Como veremos más adelante, este hecho tiene una importancia decisiva en Maspalomas, pues se produce la ocupación progresiva de la terraza del Inglés por cultivos, que es apreciable entre finales de los años 50 y principios de los 60, y que puede haber tenido serias implicaciones en la dinámica sedimentaria eólica.

El desarrollo turístico del sur de la isla es relativamente reciente. Desde su nacimiento, a principios del pasado siglo, la explotación de este negocio se centró principalmente en Las Palmas de Gran Canaria y las áreas de medianías cercanas a la capital, como Santa Brígida o el Monte Lentiscal (Fernández Fúster, 1991), siendo un turismo escaso, elitista y con un alto nivel de gastos (Hernández, 2001). Sin embargo, la idea de Maspalomas como núcleo turístico, ya fue blandida en los años 30 por Néstor Martín Fernández de la Torre quien, en 1936, hablaba de Maspalomas como el futuro del desarrollo turístico en la isla (Nadal y Guitián, 1983).

La verdadera expansión del turismo de masas en Gran Canaria tiene lugar a finales de los 50 y principios de los 60, cuando se produce la aparición de vuelos charter, procedentes, sobre todo, de los Países Nórdicos (Noruega, Finlandia y Dinamarca). Este hecho desencadena la necesidad de dotar a la isla de mayores infraestructuras para acoger la demanda y, con ello, una fiebre constructora sin precedentes hasta el momento. Así, en poco más de diez años, la evolución del turismo en cifras supone una entrada en la Provincia de Las Palmas de 19.190 visitantes, en 1955, a 274.552, en 1967 (Nadal y Guitián, 1983).

En el bienio 1958-59 surgen los primeros proyectos de urbanización del sur de la isla, pero no será hasta 1963 cuando se produzca el verdadero lanzamiento de esta idea. En los primeros momentos, el propietario de los terrenos, el conde de la Vega Grande, se plantea urbanizar 500.000 m² en los Llanos del Inglés. Después de varios intentos frustrados de asociación con empresas, bancos e instituciones, nace la posibilidad de realizar un concurso internacional (Nadal y Guitián, 1983). Establecido éste, resulta ganador el

proyecto presentado por el equipo francés SETAP (Société pour l'Etude Technique d'Amenagement Planifiés).

Curiosamente, una gran cantidad de trabajos fueron rechazados toda vez que proponían la realización de parte del proyecto en el sistema dunar, que el jurado estimaba como espacio inalterable (Nadal y Guitián, 1983). Sin embargo, el proyecto ganador también incluía un cierto desarrollo en este espacio, a través de dos urbanizaciones y un telesilla.

Sin entrar en detalles sobre este proyecto, se hace necesario, no obstante, hacer mención a dos cuestiones que consideramos relevantes: en primer lugar, el respeto que muestra hacia el espacio natural y, así mismo, hacia la integración de la agricultura de la zona. Por otro lado, este proyecto carecía de plan de etapas, por lo que, según Cáceres (1980) merece ser considerado más como un proyecto paisajístico, que como un plan urbanístico.

La ejecución del proyecto no se ha desarrollado tal y como se tenía planteado inicialmente, dado que el organismo encargado de ejecutarlo (la Sociedad Promotora Maspalomas Costa Canaria) dedicó sus esfuerzos al sector inmobiliario. De cualquier modo, la urbanización del entorno del sistema dunar se ha desarrollado con altas y bajas, tanto por las crisis económicas sufridas a nivel mundial, como por la sobreoferta turística (Parreño, 2001a) hasta ocupar, en la actualidad, la práctica totalidad de la llanura sedimentaria del barranco de Fataga. Los últimos períodos de desarrollo se han caracterizado por presentar un bajo nivel de planeamiento y de calidad urbanística. Para Parreño (2001a), en la actualidad, la oferta turística se presenta con un nivel de dotaciones y de saturación inadecuados, producto de varios hechos, entre los que destaca un alto nivel de incumplimiento del proyecto del SETAP y del planeamiento urbanístico, así como la permisividad de la administración local con los promotores, que manifiestan un alto grado de incumplimiento de las obligaciones urbanísticas, especialmente en el incremento generalizado de densidades. Como consecuencia de estos hechos, en la actualidad se presenta la necesidad de emprender una reestructuración de la malla

urbanística, en pos de un turismo de mayor calidad, hecho que ha asumido, en los últimos años, la administración local (Parreño, 2001b).

En lo que repercute al sistema natural, el proceso de urbanización ha ido “cercando”, progresivamente, el campo dunar, y culmina en el año 2000, cuando concluye la edificación del sector oriental de la urbanización Costa Meloneras.

1.3.2.3. Protección del Espacio

El primer antecedente de protección de este espacio data de 1975, año en el que los propietarios del sistema dunar contactan con el Cabildo Insular de Gran Canaria con el fin de solicitar su declaración como Parque Natural. En esta misma época se publica el Proyecto nº 817 (32-2) de la UICN/WWF, titulado "Inventario de los Recursos Naturales Renovables de la Provincia de Las Palmas" donde se propone a las Dunas de Maspalomas como Reserva Natural, idea que es recogida por la Administración en su programa de inventario de áreas naturales a proteger.

En 1980 se presenta en el Congreso de los Diputados una proposición de Ley para la declaración como Parque Natural a las Dunas de Maspalomas, proposición no aceptada por defectos de forma. Sin embargo, un año más tarde se elabora, por parte de la Inspección Regional del ICONA (Asesoría Técnica de Protección de la Naturaleza), un proyecto para la declaración de la zona de las Dunas de Maspalomas como Paraje Natural de Interés Nacional, ocupando éste una superficie de 328 hectáreas.

Finalmente, en 1982, en el BOE nº 121, de 30 de julio, se publica el Real Decreto 1.741/1982, de 25 de junio, por el cual se establece una protección provisional de las Dunas de Maspalomas. En este Decreto se dispone la creación de una Junta o Patronato, cuya finalidad es proponer y estudiar las medidas necesarias para salvaguardar y conservar este paraje.

Un año más tarde, en julio de 1983, el Patronato de Protección Provisional de las Dunas de Maspalomas dispone, como medida de protección, la elaboración de una propuesta de Proyecto de Ley para la declaración de este espacio como Paraje Natural de Interés Nacional. En esta figura estaría englobado el conjunto de los ecosistemas, formado por el campo de dunas, charca y oasis de Maspalomas. Igualmente se propone la protección de los 200 metros inmediatos mar adentro, como medida de protección a la base natural de arena y posibles vertidos en la zona, así como a la flora y fauna marinas. Así, la superficie total del espacio propuesto para la protección es de 418,8 hectáreas, por lo que se incrementa en 90,8 hectáreas la superficie aprobada provisionalmente.

En 1987, la Ley 12/1987 de Declaración de Espacios Naturales de Canarias, de conformidad con lo previsto en el art. 4 de la Ley 15/1975, de 2 de mayo, de Espacios Naturales Protegidos, declara el área de las Dunas de Maspalomas como Paraje Natural de Interés Nacional, con una extensión de 399 ha. Posteriormente, en virtud del Decreto 152/1988, de 14 de octubre, se crea el Patronato del Paraje Natural "Dunas de Maspalomas" y se ordena la redacción del Plan Rector de Uso y Gestión.

Tanto la Ley como el Decreto son derogados por la Ley 12/1994, de 19 de diciembre, de Espacios Naturales de Canarias, que reclasifica los Espacios Protegidos en orden a su adaptación a la Ley 4/1989, de 27 de marzo, de Conservación de los Espacios Naturales y de la Flora y Fauna Silvestres. De esta manera, este espacio dunar se convierte en la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas, adquiriendo, además, el rango de Área de Sensibilidad Ecológica (ASE), figuras legales que permanecen hasta la fecha, a pesar de que la citada Ley 12/1994 ha sido adaptada a Texto Refundido a través del Decreto Legislativo 1/2000, de 8 de mayo, en conjunción con la Ley 9/1999, de 13 de mayo, de Ordenación del Territorio de Canarias.

Finalmente, y en cumplimiento de lo dispuesto por la Ley 12/1994, la Orden 631, de 12 de marzo de 1999, aprueba el Plan Director de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas (figura I.5).

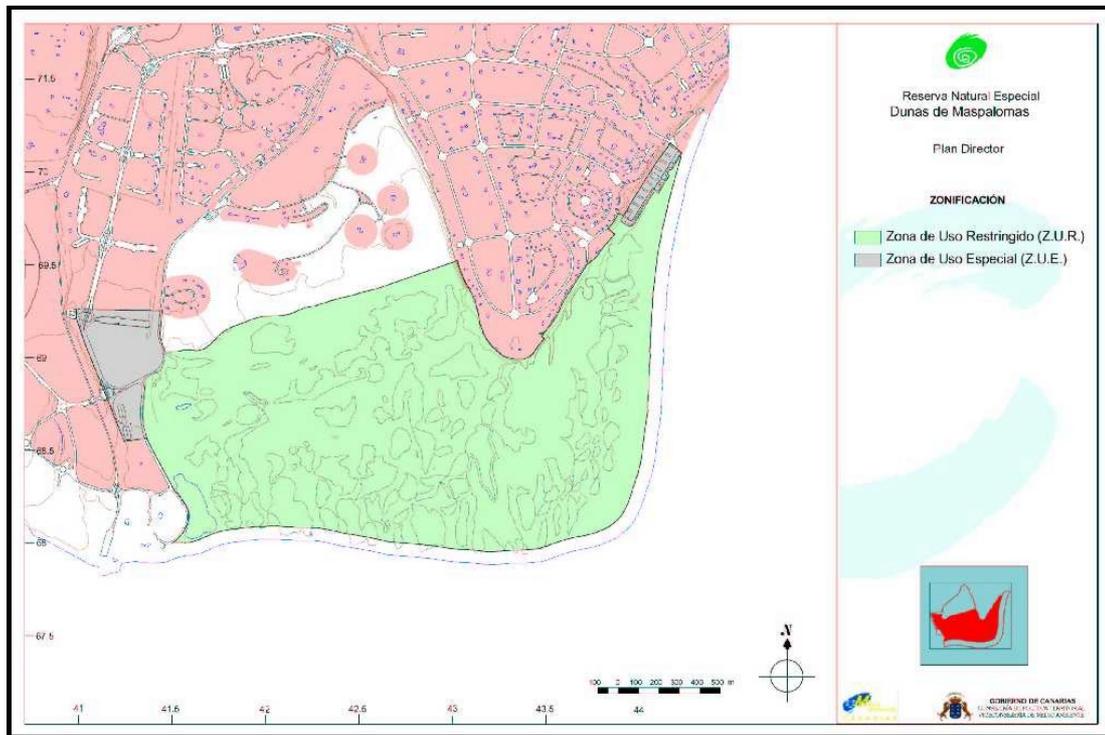


Figura I.5. Zonificación de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas (Fuente: Viceconsejería de Medio Ambiente. Gobierno de Canarias)

1.3.3. La situación actual del sistema dunar de Maspalomas: el conflicto entre el desarrollo y la conservación

El problema que afronta esta investigación nace al ser considerado este espacio dunar como el núcleo del reclamo de un turismo litoral que se extiende indefectiblemente desde hace décadas. De este modo, en sus alrededores se sitúan urbanizaciones turísticas que utilizan este espacio como marco de operaciones, como escenario de un negocio que se mueve a sus espaldas. Por otro lado, encontramos unos “actores-usuarios” que se extienden por este territorio buscando la exclusividad de los paraísos pocas veces

visitados, impregnando con su presencia cada rincón y dejando huellas palpables de su estancia.

Con respecto a los efectos que sobre el espacio tienen las urbanizaciones y los equipamientos turísticos, se constatan dos realidades: la primera, evidente, se produce por la invasión material de algunos sectores del territorio del espacio dunar, y se manifiesta en lógicas modificaciones de hábitats por transformación de los componentes de los ecosistemas. Es el caso del campo de golf, del sector sur de la urbanización de playa del Inglés o, más directamente, de las ya desaparecidas infraestructuras hoteleras que se situaban en el sector occidental del área dunar de Maspalomas. La segunda realidad constituye el “efecto inducido”, menos palpable, a no ser a largo plazo y con una visión escalar menor, que permita contemplar el desenlace en toda su inmensidad. Se trata de los efectos sobre el mismo funcionamiento del sistema dunar, es decir, sobre la dinámica sedimentaria eólica que garantiza el normal transporte y acumulación de los materiales.

Este efecto, inducido por el volumen y el diseño de las edificaciones destinadas a acoger la demanda turística, se observa, tras largos años de actuación, en una pérdida constante de arena en el sector inmediatamente opuesto a las edificaciones, considerando la dirección dominante del viento. La transformación supone, a la larga, un cambio global en el sistema, al verse afectados todos los elementos que lo componen: fijación de dunas, aparición del sustrato subyacente, cambios en la vegetación y, por tanto, en el hábitat de las especies (Suárez y Hernández, 1998a).

En cuanto a los usuarios, los efectos de su paso por el sistema se manifiestan de manera visible y, teniendo en cuenta las actividades que desarrollan, su repercusión adquiere una gran difusión espacial (creación de senderos y caminos que suponen fronteras para la fauna, cortes de ramas, pisoteos, ruidos, construcción de goros cortaviento...) (Suárez y Hernández, 1998b).

Que haya sido el desarrollo del turismo en Maspalomas el hecho que ha condicionado, de manera directa, la dinámica del sistema, es algo que ha sido apuntado en la última década. Así, la primera referencia a este fenómeno la encontramos en I.T.G.E. (1990), que inventaría la presencia de pasillos de sombra eólica en el sector norte de la playa del Inglés, asociados a los grandes equipamientos de playa que habían estado presentes hasta finales de los años 80. Una segunda referencia la encontramos en Martínez (1990), quien afirma que las pantallas arquitectónicas próximas al escarpe de la llanura aluvial podrían estar provocando amortiguaciones del viento, al menos sectorialmente. Con ello pronostica que se podría estar produciendo una caída en la capacidad del transporte, que conduciría a la reducción de la reserva sedimentaria. En esta misma línea, llega a la conclusión de que muchas de las intervenciones realizadas en las playas secas, delimitantes del campo dunar, actúan a modo de cortavientos, que interfieren los transportes hacia los depósitos eólicos del interior.

Será a partir de mediados de los años 90 cuando se produzca una mayor profundización en el conocimiento de estas interferencias, y sus repercusiones sobre el espacio dunar. Ésta se realiza a partir de los trabajos que se desarrollaron con vistas a conocer la dinámica del sistema en los últimos 30 años, en el marco de elaboración del Plan Director de la Reserva.

En la consecución de estos trabajos se contó con fotografías aéreas de 1962, 1977 y 1987, así como con una imagen digital multiespectral, captada por un sensor aerotransportado en octubre de 1993. Los análisis realizados a partir de estas fuentes permitieron constatar la existencia de un cambio significativo en el interior del sistema dunar. Este cambio se manifestaba en el notable crecimiento experimentado por la vegetación en un corto intervalo temporal, en la aparición del sustrato subyacente, con gran contenido en arcillas. Todo ello indicaba, por tanto, que se estaba perdiendo un volumen considerable de arena.

Además, la comparación de los fotogramas de diferentes épocas permitió contemplar cómo, en fechas anteriores a la edificación de la urbanización de Playa del Inglés, aparecía una gran duna situada al pie de la terraza sedimentaria, que no existía en las imágenes relativas a épocas más recientes. La explicación provisional dada a este hecho fue que esta duna conformaba el “almacén” de sedimentos para el sector norte del sistema, producida por el transporte de arenas por encima de esta terraza.

Este hecho se apoyaba, además, en la elaboración de perfiles transversales altitudinales con una dirección O-E, utilizando como base los documentos de cartografía topográfica elaborados en 1960 y 1987. A la vista de los resultados era evidente la pérdida de arenas en este sector interior del sistema.

A la vista de esta información, podemos concluir que nos encontramos ante un espacio que presenta una problemática muy compleja, que deriva de una naturaleza “especial”. Ésta ha sido la causa de su declaración como espacio natural protegido, pero, a su vez, también ha sido la razón principal de su papel como área de atracción de la actividad turística que se desarrolla en su entorno, y cuya mayor expresión la encontramos en los proyectos urbanísticos que han sido desarrollados en sus inmediaciones.

Su calificación como Espacio Natural ha implicado, en los últimos años, una serie de acciones desarrolladas con el fin de dar protección a este espacio. Sin embargo, la presión en él es tan elevada, que estas acciones sólo pueden ser llevadas a cabo de forma puntual.

El hecho de que se detecte en este espacio un impacto sin precedentes, causado por la interposición de las edificaciones e infraestructuras turísticas en el flujo eólico, que caracteriza al sistema dunar, imposibilita, en buena medida, el desarrollo de acciones globales, toda vez que el espacio se constriñe a un sector del territorio del que éstas quedan fuera. De esta forma, el freno a la degradación que sufre el sistema dunar no puede estar sólo en manos de los órganos de gestión ambiental, sino, en todo caso, de los

órganos de gestión urbanística. Sin embargo, siendo el desarrollo urbanístico asociado al turismo el principal valuarte de la riqueza del sur de la isla, no cabe pensar en soluciones de cara a la mejora o la recuperación del sistema dunar.

Llegados a este punto, se plantea la paradoja: el espacio dunar, que hasta ahora ha servido de reclamo para el desarrollo de la actividad turística, se encuentra herido por el propio desarrollo urbanístico asociado a esta actividad. Su carácter de espacio natural no puede ser considerado de gran valía de cara a su recuperación, por lo que el reclamo, indefectiblemente, tiende a desaparecer, y con él, igualmente, desaparecerá la actividad económica.

Encarar estos problemas, desde el punto de vista de la protección del Medio Ambiente, era el objetivo del Plan Director de la Reserva Natural Especial. Por ello, recoge la problemática presentada anteriormente, tanto en su documento informativo, como en el normativo, siendo una de las líneas prioritarias marcadas por este documento la de profundizar en el conocimiento de este proceso de pérdida de sedimentos.

Así, en el apartado 2.2.4 del Documento Informativo, relativo a *la evolución y transformación temporal de los ecosistemas de la Reserva*, se establecen los elementos que suponen la transformación morfológica y espacial de este área en los últimos treinta años. Entre estos, se citan *alteraciones en los procesos eólicos de aportes de arenas y transformación de las comunidades vegetales presentes en la Reserva*. En relación a la primera, se explica que: “(...) han modificado sustancialmente algunos de sus procesos ecológicos más característicos (...), produciéndose una progresiva reducción del sistema de dunas móviles en el área norte de la Reserva que progresivamente ha ido estabilizándose (...) en la unidad de paisaje que hoy reconocemos como sistema de dunas fijas. Este sistema de dunas fijas actuales es producto del efecto producido por la urbanización de la terraza de 25 m, (...) Esta conurbanización actuó como impedimento

físico para que siguieran trasvasándose arenas móviles hacia este sector de la Reserva (...)”.

En cuanto a la transformación de las comunidades vegetales presentes en la Reserva, se especifica que *“La estabilización progresiva del área central de la Reserva y la progresiva reducción de las cotas que ha favorecido la pérdida de arenas ha propiciado la recuperación de las comunidades vegetales que la caracterizan. Especialmente notoria es la recuperación de los bosquetes de tarajales en los llanos centrales de la Reserva, posiblemente asociados a capas freáticas superficiales (...) y a la ausencia del sistema de dunas móviles que en los años 60 impedía la recuperación de estos árboles por el sucesivo tránsito de las dunas. Conjuntamente con estos bosquetes en algunos casos y en otros de modo independiente, en este sector central, se ha producido una recuperación de los enclaves con juncuales y matorrales densos (Schizogyno-Juncetum acutii), asociados a niveles altos de la capa freática (...). Quizás también por la pérdida de los materiales arenosos (...) se ha producido una progresiva aparición de la terraza sedimentaria de 2 m (...), dominada por la abundancia de materiales arcillosos casi en superficie, favoreciéndose la extensión de los matorrales ralos de Suaeda vermiculata (...)*”.

Puesto que es el propio Plan Director el encargado de establecer las líneas prioritarias de investigación, considera, dentro de su *Programa de Investigación y Estudios*, un proyecto cuyo cometido sea el *“estudio sobre procesos dinámicos y morfológicos en el campo de dunas de Maspalomas con propuestas de medidas en relación con la planificación y gestión de esta franja litoral”* (apartado 5.4.h). Dentro de este estudio, establece la necesidad de considerar, entre otros criterios, los siguientes:

- *descripción de la dinámica y morfología del campo de dunas y sus playas delimitantes*
- *inventariación de la dualidad causa-efecto de la dinámica y morfología actual en relación con las actuaciones urbanísticas y de equipamientos realizadas en la periferia del mismo*
- *determinación de las velocidades de desplazamiento de las dunas*

- análisis de los vientos con las observaciones más significativas.

Desde esta investigación, se considera necesario, por tanto, dar respuesta a estas cuestiones, para lo que es preciso caracterizar el proceso de cambio que ha experimentado el sistema dunar en los últimos cuarenta años. Este trabajo pasa por conocer la dinámica que ha tenido este sistema en cuanto a volúmenes de arenas, geoformas y masas de vegetación, así como el papel que ha desempeñado el hombre como modificador de este sistema dunar.

CAPÍTULO II. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA

Considerando el marco teórico expuesto en el capítulo anterior, este trabajo se encuadra, desde el punto de vista de la metodología a adoptar, en la línea más clásica, descriptiva, de la geomorfología litoral, aunque establece el punto de vista global que le aporta la Geografía.

Para dar respuesta a las preguntas planteadas desde el Plan Director de la Reserva, se propone abordar el análisis del funcionamiento del sistema combinando dos enfoques: por un lado, el pluriescalar, que nos permite observar los rasgos generales del sistema y, al tiempo, abordar estudios de detalle en cada una de las unidades que lo configuran; pero, del mismo modo, se atiende a un enfoque multitemporal, que nos permite observar las variaciones producidas en el sistema en los últimos cuarenta años, con el fin de analizar la relación existente entre los cambios acaecidos en el funcionamiento de los elementos que lo caracterizan, desde un punto de vista natural, con aquellos otros provenientes del desarrollo turístico del área.

A este respecto, es necesario aclarar que se ha considerado un intervalo temporal que se inicia a finales de los años cincuenta y principios de los años sesenta del pasado siglo. La elección de esta fecha está motivada por dos razones: la primera, que coincide con el momento justamente anterior a que se produjese el desarrollo turístico, por lo que resulta clave para observar el sistema en un momento en el que su funcionamiento está menos supeditado, al menos en principio, al desarrollo humano. La segunda razón, de orden técnico, deriva de la disponibilidad de fuentes, dado que no existen documentos fotográficos verticales del área de estudio hasta finales de los años cincuenta.

Al tiempo, la caracterización del funcionamiento del sistema en cada momento analizado, nos obliga a atender a diversos aspectos, desde aquellos relacionados con la geomorfología eólica, hasta aquellos otros en los que los impactos humanos son el

elemento clave que permite observar la degradación del espacio. Por todo ello, se hace necesario proceder mediante la combinación de diversas técnicas. Éstas van desde la observación de campo, descriptiva, hasta otras más analíticas, algunas numéricas, que acercan los resultados a un perfil cuantitativo. Para su desarrollo ha sido necesario usar múltiples herramientas, algunas englobadas en las tecnologías de la información geográfica (TIG).

Finalmente, enfoques y técnicas se integran con el fin de alcanzar los objetivos establecidos.

2.1. Objetivos e hipótesis

El objetivo general que se propone este trabajo es *el estudio de la evolución del sistema dunar de Maspalomas desde los años 60 hasta la actualidad y el papel que ha desempeñado el desarrollo turístico, condicionando su funcionamiento*. Este objetivo principal se divide, a su vez, en tres específicos:

1. *La caracterización del funcionamiento actual del sistema dunar* constituye el punto de partida necesario, a partir del cual se pueden caracterizar el funcionamiento del sistema en épocas precedentes. A este respecto hay que añadir que, hasta este momento, el único modelo que explica el funcionamiento de este sistema es el establecido por Martínez (1990) y por Martínez *et al.* (1986), con un carácter claramente geomorfológico, que basan parcialmente sus conclusiones en los trabajos desarrollados por Nadal y Guitián (1983).

Por ello, se hace necesario profundizar en el conocimiento del funcionamiento del sistema, haciendo participar en él otros aspectos, además de los meramente geomorfológicos. De igual modo, es necesario integrar en este modelo las nuevas variables conocidas sobre la evolución reciente del sistema. Únicamente a partir de este

ejercicio es posible establecer los elementos a analizar en la caracterización del funcionamiento en años precedentes.

Para llevar a término este ejercicio, se hace necesario contemplar tres grupos de aspectos: el primero, se relaciona directamente con la geomorfología eólica, como son las propias geoformas, los vientos, los sedimentos y los materiales geológicos, así como la velocidad de desplazamiento de las dunas y la altura del sedimento; el segundo se relaciona con la vegetación, mientras el último lo conforman los impactos antrópicos en el sistema. Ha sido éste el objetivo que ha necesitado del desarrollo de trabajo de campo, con el apoyo de ejercicios de fotointerpretación y análisis de imágenes, si bien la información espacial obtenida ha sido volcada sobre documentos georreferenciados.

2. La caracterización del funcionamiento del sistema dunar en diferentes momentos relativos a épocas precedentes conforma el segundo cuerpo de esta investigación, para el que se ha hecho uso, básicamente, de fotografías aéreas históricas, especialmente en relación al análisis de las geoformas. Del mismo modo, se ha contado con un documento cartográfico de detalle para la primera fecha estudiada, así como de una imagen digital para el período relativo a mediados de los años noventa. Con el fin de hacer comparable la información obtenida con la relativa al último período, se ha procedido a su volcado, igualmente, sobre documentos georreferenciados.

3. La evolución que ha experimentado el sistema dunar desde principios de los años 60 hasta el año 2000 y el papel que ha jugado el desarrollo de la actividad turística en esta dinámica, condicionando su funcionamiento, conforma el último objetivo específico de esta investigación. Para ello se procede al análisis de las variaciones experimentadas por los elementos que caracterizan el sistema, especialmente los relativos a la geomorfología (geoformas y altura de la lámina de arena) y la vegetación. De su contraste es posible deducir los cambios acaecidos en los últimos cuarenta años y, con ello, descubrir las variaciones producidas en el sistema, pudiéndose discernir entre aquéllas que se derivan

de una dinámica exclusivamente natural, de aquellas otras en las que la actividad humana, asociada al desarrollo turístico del área, ha jugado un papel protagonista.

Considerando como premisas la información vista en el capítulo anterior, esta investigación parte de dos hipótesis concatenadas: la primera de ellas establece que, en los últimos cuarenta años, se han producido cambios ambientales de gran importancia en este sistema; la segunda, que estos cambios son consecuencia directa del desarrollo turístico del área.

De estos cambios producidos, la alteración de la dinámica sedimentaria eólica, y de la vegetación son los indicadores más directos, por lo que su análisis permite deducir el grado de las transformaciones experimentadas. Por esta razón, serán éstos los indicadores utilizados para contrastar las hipótesis.

2.2. Metodología general

Con el fin de alcanzar los objetivos propuestos, se establece un diseño metodológico que nos permite llevar a cabo el análisis de la evolución del sistema dunar (figura II.1). Para ello se toma como punto de partida el análisis de la situación actual. En segundo lugar se realiza una aproximación a las características que presentaba el sistema en cada uno de los intervalos temporales considerados y, finalmente, tras la comparación de las variaciones detectadas, se determina cuál ha sido la evolución entre los años 60 y la actualidad, así como la incidencia que las actividades humanas, asociadas al desarrollo turístico, han tenido en este cambio.

Por lo que respecta a los dos primeros objetivos específicos, el diseño metodológico se centra en el análisis de los diferentes elementos que caracterizan este espacio. Teniendo en cuenta la importancia que en él tiene la dinámica dunar, se comienza por el estudio de las geoformas actuales que lo definen, y se realiza un seguimiento de las variaciones que han experimentado en cada intervalo temporal considerado. Estas formas son el resultado

de la acción del viento sobre el sedimento, por lo que la caracterización de estos dos elementos resulta igualmente obligatoria, así como la de aquellos otros que pudieran interferir en dicha dinámica, entre los que destacan la vegetación y los aspectos derivados del desarrollo de actividades humanas en el sistema.

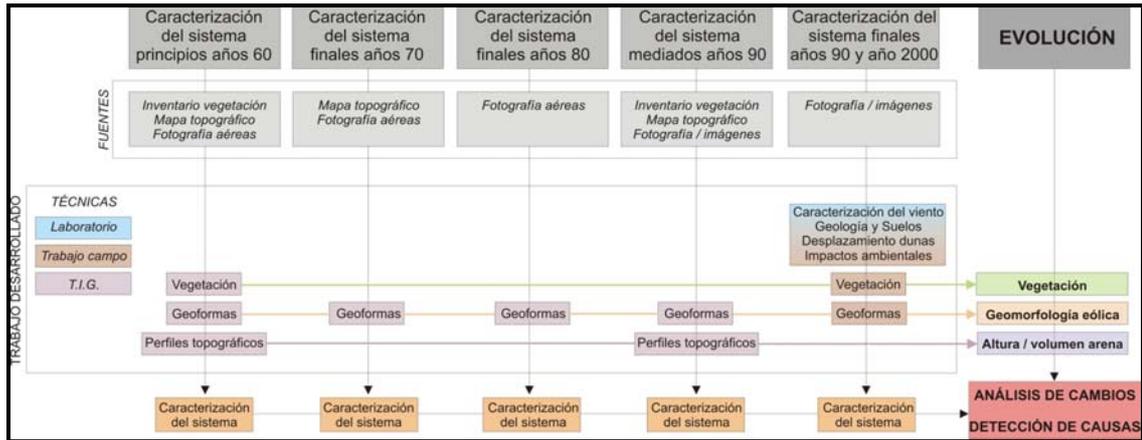


Figura II.1. Esquema metodológico

La caracterización de las formas dunares, así como de la vegetación y de aquellos elementos humanos que suponen la alteración de la dinámica sedimentaria eólica, se abordan, con respecto al primer objetivo, tanto a través de trabajo de campo, como a partir de ejercicios realizados sobre documentos fotográficos y cartográficos, siendo éstos, así mismo, la única fuente disponible para afrontar el segundo objetivo propuesto.

Con respecto al trabajo de campo, éste se ha desarrollado a lo largo de tres años, durante los cuáles se ha realizado el seguimiento de diferentes aspectos relacionados, principalmente, con las geoformas y la vegetación, así como con los impactos ambientales que sufre el sistema. De igual forma, se diseñó un protocolo de observación para conocer la velocidad de desplazamiento de las dunas, y cuya toma de datos fue realizada durante 13 meses.

Por su parte, el estudio de los sedimentos (tanto en cuanto a la arena como en relación a los depósitos de rocas) ha sido abordado a partir de su caracterización desde el punto de vista petrográfico y, en el caso de las arenas, también desde el análisis textural y químico (conductividad eléctrica y pH).

El estudio del viento se ha abordado a partir de dos fuentes: por un lado, los datos procedentes de la estación meteorológica que el Intituto Nacional de Meteorología tiene ubicada en el hotel Faro de Maspalomas desde 1997. Por otro, la realización de observaciones de campo mediante anemómetros portátiles para establecer algunos rasgos significativos de la variabilidad horaria que la dinámica eólica presenta en el ámbito de estudio.

Por lo que respecta a los documentos georreferenciados, se ha trabajado a partir de la corrección geométrica de fotogramas procedentes de distintos vuelos realizados sobre el sistema dunar. La interpretación de estos documentos estuvo apoyada en técnicas de fotointerpretación convencional sobre documentos originales, así como en técnicas de teledetección de documentos captados por sensores óptico-electrónicos. También dentro del campo de estas tecnologías de la información geográfica, se elaboraron perfiles topográficos sobre cartografía de detalle, con el fin de obtener cifras aproximadas de la altura de la lámina de arena y su distribución espacial, así como conocer el volumen de sedimentos presentes en el área en dos fechas claves.

El tercer objetivo ha sido abordado a través de la comparación de los documentos obtenidos, mediante la realización de un análisis diacrónico entre los documentos, centrado en el estudio de las variaciones experimentadas por las geoformas, la vegetación, las actuaciones humanas, así como entre los perfiles topográficos comentados. Como resultado de estos análisis se obtiene la caracterización de la dinámica multianual del sistema en los últimos 40 años.

Dentro de este análisis y, con el fin de proceder a caracterizar la evolución de las geoformas, se toma como indicador prioritario la presencia de espacios interdunares, conforme su ampliación indica una carencia en los aportes de sedimentos. De igual modo, la disposición de éstos en el espacio es indicativa de la dirección que, en cada momento, presentan las dunas. Otro indicador que se ha considerado es la propia forma de las dunas, por cuanto permite establecer el balance existente, en cada momento y de forma espacial, entre los sedimentos dispuestos a ser movilizados y los vientos efectivos.

La dinámica de la vegetación es otro de los aspectos analizados. Al igual que en el caso anterior, el contraste entre los documentos relativos a diferentes épocas, permite conocer las variaciones cualitativas y cuantitativas experimentadas por las comunidades vegetales que pueden ser reconocidas mediante fotointerpretación, así como cartografiar la dimensión espacial del cambio. Su detección resulta de vital importancia, por cuanto muestra las áreas que han dejado de ser móviles al producirse el asentamiento de comunidades vegetales, bien por la desaparición del sedimento móvil, bien por la reducción significativa de la tasa de movilidad sedimentaria. Todo ello se completa con el estudio de campo de la composición y estructura de la vegetación actual, mediante la realización de inventarios y perfiles fitoestáticos.

Así, la caracterización de la evolución temporal del sistema dunar, servirá de base para la estimación del papel ejercido por la implantación del desarrollo turístico en este espacio. La identificación y caracterización de los impactos producidos será, por tanto, un ejercicio a desarrollar, igualmente, en este último apartado. Este trabajo se realiza, básicamente, a través de trabajo de campo, si bien algunos de los aspectos considerados han sido abordados mediante el análisis de imágenes, tanto aéreas convencionales, como digitales. Entre estos últimos se encuentran el seguimiento de los pasillos de sombra eólica generados por los kioscos ubicados en la playa del Inglés, o la detección de caminos en el interior del campo de dunas.

Dada la amplitud y la complejidad del tema que se trata en esta investigación, se ha hecho necesaria la combinación de herramientas muy dispares, desde aquéllas “tradicionales”, como el trabajo de campo y la fotointerpretación, hasta otras más novedosas como el tratamiento de imágenes digitales. De esta forma, se aborda la información de manera global, pero al mismo tiempo pormenorizada, con el fin de obtener unos resultados precisos y fiables. A continuación se presenta cada una de estas herramientas, conforme a la aplicación que de ellas se ha realizado en el trabajo.

2.3. Análisis de la evolución del sistema a partir de documentos aéreos

La interpretación de fotogramas aéreos es una herramienta imprescindible en los estudios sobre evolución espacio-temporal de un territorio. En el caso que nos ocupa, la fotointerpretación ha requerido la realización de las siguientes tareas:

2.3.1. Selección de vuelos fotogramétricos

En la selección de los vuelos fotogramétricos ha primado tanto la disponibilidad de documentos relativos a fechas distintas, como la escala de trabajo. La intención original era considerar un vuelo cada 10 años aproximadamente, con el fin de tratar información sobre el área de estudio en diferentes momentos durante los últimos cuarenta años. De igual modo, se buscaba una escala de trabajo que permitiera considerar el área de forma global, aunque debía permitir, igualmente, la observación y detalle de los fenómenos a estudiar. De entre las escalas más habituales en fotografía aérea, se estimó como válida una escala nominal en torno a 1:18.000 que correspondía, además, con la más común de los vuelos disponibles. No obstante, para la caracterización del sistema en la década de los noventa se requería de un estudio más preciso, por lo que se optó por el vuelo de mayo de 1996, que presentaba una escala nominal de 1:8.000, trabajándose éste a través de fotointerpretación tradicional. De igual modo fue analizada la amplia información disponible del período relativo a los años 60, toda vez que existían fotogramas desde 1948, procedentes de vuelos realizados por el Ejército del Aire, aunque

la geometría de algunos de ellos imposibilitaba su corrección con niveles de error aceptables.

Los vuelos existentes para este sector de la isla con posibilidad de realizar una corrección geométrica bastante ajustada, es decir, tomados desde aproximadamente la vertical, parten de principios de los años 60, habiendo sido realizados por el Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria. Posteriores a éstos, no existen documentos aéreos hasta 1977, correspondiente a un vuelo elaborado por la mencionada corporación civil y, después, hasta 1987. A partir de ese año, la documentación aérea existente es ya abundante. En la tabla II.1 se pueden observar las características generales de estos vuelos, así como los negativos utilizados en este trabajo. Por su parte, en la tabla II.2 se presentan las características de los vuelos utilizados como documentos de apoyo a la fotointerpretación.

Fecha	Color, B/N	Escala	Pasada, rollo	Negativos	Entidad
Agosto 1962	B/N	1:18.000	--	4664-4667, 4689-4693	Cabildo
Marzo 1977	B/N	1:20.000	20	5077-5079	Cabildo
Marzo 1987	Color	1:18.000	H	2149-2151	D.G. Costas
Abril-mayo 1989	B/N	1:18.000	17	6579-6581	Estosa
Febrero 1994	B/N	1:18.000	19	3547	Grafcan
Diciembre 1995	Color	1:18.000	21-22	980, 1009	Grafcan
Noviembre 1998	Color	1:18.000	22	4338	Grafcan

Tabla II.1. Fotografías aéreas de Maspalomas. Documentos utilizados para corrección geométrica

Fecha	Color, B/N	Escala	Pasada, rollo	Negativos	Entidad
Febrero 1948	B/N	1:10.000	--	827-839	M. de Defensa
Abril 1959	B/N	1:15.000	164	8295-8298, 8304-8305	M. de Defensa
Junio 1960	B/N	1:5.200	204	9753-9754	M. de Defensa
Marzo 1961	B/N	1:5.000	--	6900-6908	Geocart
Julio 1961	B/N	1:10.000	242	10622-10626, 10633-10638	M. de Defensa
Mayo 1963	B/N	1:18.000	4	22-23	M. de Defensa
Mayo 1963	B/N	1:10.000	8 y 10	68-70; 88-90	M. de Defensa
Mayo 1996	Color	1:8.000	5, 6 y 7	6284-6285, 6433-6437	Grafcan

Tabla II.2. Fotografías aéreas de Maspalomas. Documentos de apoyo

De todos los vuelos existentes, se seleccionaron aquéllos cuya escala se aproximaba a la de referencia. Sobre éstos, se realizaron las correcciones geométricas pertinentes, con el fin de trabajar sobre documentos con coordenadas planas. La interpretación se realizó para las cuatro épocas consideradas, que abarcan la evolución del sistema en los últimos cuarenta años y la progresiva ocupación del espacio litoral en este sector de la isla. Estas épocas son:

- Principios de los años 60, que abarca la documentación referente al vuelo llevado a cabo por el Excmo. Cabildo Insular en 1962, con apoyo, en la toma de punto de control y en las labores de interpretación, de los vuelos realizados por el Ministerio de Defensa entre 1959 y 1963 y por la empresa Geocart en 1962.
- Finales de los años 70, cuya única documentación se reduce al vuelo de 1977, realizado por la empresa Aerofoto para el Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria.
- Finales de los años 80, que cuenta con la documentación relativa a los vuelos de marzo de 1987, encargado por la Dirección General de Costas y de abril-mayo de 1989, realizado por Estosa.
- Para la década de los noventa se han utilizado los vuelos de febrero de 1994, diciembre de 1995 y noviembre de 1998. Por su parte y, para labores de interpretación, se ha contado con el vuelo de mayo de 1996, elaborado por la empresa pública Grafcan.

2.3.2. Digitalización, corrección geométrica de los fotogramas y elaboración de documentos georreferenciados

A la hora de abordar un análisis de cambios, se requiere considerar una serie de requisitos previos, con el fin de que los resultados obtenidos sean correctos (Moore,

2000). Entre éstos resulta imprescindible la corrección geométrica. Así, la necesidad de ajustar los documentos a un sistema de georreferencia común es el primer paso que debe realizarse. De no abordarse esta operación, se estarían considerando como cambios lo que, de hecho, no es sino una falta de ajuste entre documentos.

Estos trabajos de corrección geométrica tienen como objetivo disponer los datos de tal forma que cualquier punto, localizado en un fotograma, pueda ser identificado exactamente en la misma posición en otro de una época diferente, corrigiéndose así los errores de partida de los documentos originales. Estos errores vienen determinados por las herramientas utilizadas en la captación de los datos, principalmente las cámaras fotográficas, que presentan una visión angular muy estrecha, por lo que los negativos tienen una deformación cónica que se minimiza en el centro de los fotogramas (“centro útil”). Se debe, por tanto, transformar los documentos originales a una proyección plana, a partir de la aplicación de funciones matemáticas (lineales, cuadráticas o cúbicas), que basan sus cálculos en una serie de pares de puntos de control (los relativos a la imagen objeto de la transformación y al documento de referencia, con proyección plana). De esta forma, además, se estarán corrigiendo otros errores, como los relativos a los movimientos de la plataforma durante la captación de los datos, al tiempo que se homogeneizan las escalas de los documentos originales.

En el caso de la fotografía aérea, la restitución debe abordarse únicamente para las áreas menos deformadas, correspondiendo ésta al centro útil de cada fotograma. Un paso previo a esta operación es la conversión de estas fotografías en documentos digitales, para lo que se hace necesario su escaneo mediante un lector óptico. En nuestro caso, este ejercicio se realizó considerando una resolución de 300 pixels por pulgada, muy superior a la requerida para una representación gráfica de óptima calidad. Tras esa operación, a cada fotograma le fue recortado su centro útil, e importando en fichero a un SIG con formato de datos raster, con el fin de proceder a su corrección geométrica.

Para cada uno de estos documentos se realizaron trabajos de corrección, considerando como documentos cartográficos de referencia las cartografías oficiales del Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria (obtenidos a partir de la restitución de los vuelos de 1962 y 1977) y del Gobierno de Canarias, realizada por Grafcan en 1996. Por su parte, se desechó la realizada en 1987 por esta empresa, debido a los errores que presenta en su sistema de georreferenciación. Todos estos documentos cartográficos se encuentran a escala 1/5.000.

La documentación de los puntos de control se realizó sobre áreas urbanizadas para los fotogramas más modernos (posteriores a 1962). En ese último vuelo, y a falta de edificaciones, se consideró la existencia de ejemplares vegetales que estuvieran presentes en los fotogramas del vuelo más cercano (el correspondiente al año 1977).

Con el fin de asegurar el menor error posible, los puntos de control considerados fueron del orden de la veintena para cada centro útil. La corrección se realizó a partir de una función cuadrática, que permitía un buen ajuste y lograba corregir la deformación cónica de los documentos originales. Por último, con el fin de perder el menor número de datos, el volcado en las nuevas rejillas se realizó mediante la técnica del “vecino más próximo”, frente a otras técnicas basadas en el cálculo, como la interpolación bilineal o la convolución cúbica (Chuvieco, 1996).

Una vez conseguidos los ajustes, los fotogramas fueron superpuestos para la edición final de los documentos georreferenciados. Sobre estos documentos se realizó, de nuevo, una toma de veinte puntos de control que no hubiesen entrado en los cálculos anteriores, con el fin de establecer los errores máximo y medio cuadrático de cada documento, considerándose éstos en las coordenadas X e Y. Sin embargo, dada la imposibilidad de localizar nuevos puntos de control, que ofrecieran una absoluta fiabilidad en el documento relativo a 1962 no se ha procedido al cálculo de sus errores. Para el resto de los documentos, los errores calculados se muestran en la tabla II.3.

Fecha	Error máximo		Error medio cuadrático	
	X	Y	X	Y
1977	12	10	6,2	4
1987	15	10	3,5	3
1989	10	11	5,5	4
1994	5	5	1,9	3,5
1995	9	10	4,1	3,4
1998	6	6	2,2	2,7

Tabla II.3. Errores observados en los documentos finales

Como marco de referencia, sobre el que fueron incorporadas las imágenes, se utilizó un documento que se caracteriza por los siguientes aspectos: tener un tamaño de píxel de 1 metro cuadrado, definido por 3332 columnas y 2532 filas.

2.3.3. Trabajos de interpretación

Una vez elaborados los documentos georreferenciados se procedió a la interpretación, usando técnicas de fotointerpretación tradicionales sobre las fotografías aéreas originales y otras de apoyo, y volcándose la información obtenida en los documentos georreferenciados. Para ello, se fueron reconociendo sistemáticamente, en cada intervalo estudiado, los siguientes elementos:

- Geformas y espacios interdunares: permiten realizar una aproximación al funcionamiento geomorfológico del sistema. Puesto que las formas dunares se derivan de la disponibilidad de sedimentos a ser movilizados, y de la existencia de vientos efectivos, una alteración en éstas, tanto en cuanto a su acumulación, como en cuanto a su avance, estaría indicando un cambio en alguno de los parámetros mencionados. Por su parte, la disposición espacial, la forma y el tamaño de los espacios interdunares son indicadores de la existencia de carencia o exceso de sedimentos.

- Elementos humanos: en un medio caracterizado por la dinámica de los sedimentos, la instalación de elementos humanos, muchos de ellos identificables a la escala de trabajo puede suponer una seria modificación de la dinámica eólica; tanto porque puede inducir cambios en la circulación del viento, alterando los mecanismos de transporte, como por modificar directamente los procesos de sedimentación de partículas.
- Vegetación: las transformaciones de la vegetación en un sistema de dunas –tanto en su composición, como en su estructura y dinámica- constituye un excelente indicador de los cambios que experimenta la dinámica dunar e hidrogeomorfológica, así como de las alteraciones inducidas por la actividad humana.
- Pasillos de sombra eólica y áreas de deflación: la existencia de pasillos de sombra eólica, fácilmente identificables mediante técnicas de fotointerpretación, permite localizar obstáculos que funcionan como pantallas al paso de los sedimentos, alterando su recorrido y generando áreas de sombra eólica. En estas áreas, las partículas se frenan y quedan acumuladas a sotavento del escollo. Por otro lado, principalmente en los laterales del obstáculo, el viento presenta una mayor aceleración, originando áreas de deflación eólica. Éstas pueden llegar a configurar amplias superficies cuando se produce un claro déficit sedimentario.
- Distancia desde la trasplaya a la primera línea de dunas: el seguimiento de la distancia entre la primera línea de dunas transversales y la playa alta o trasplaya, (distancia *foredune-backshore*), es uno de los ejercicios más implementados cuando se trata de conocer las variaciones sedimentarias experimentadas por un sistema litoral (Ojeda, 2000). Si bien es cierto que su uso está indicado para el seguimiento de la erosión experimentada por la orilla, en nuestro caso se pretende observar las variaciones del primer cordón dunar, estableciéndose como punto de

referencia los balancones situados en la *foredune* de la playa del Inglés. Para realizar el seguimiento del punto teóricamente móvil, se consideró, como referencia, las primeras áreas interdunares que se localizan a sotavento del primer cordón de dunas transversales. Con el fin de evitar errores, esta distancia fue medida en varios puntos, y se utilizó la media aritmética como medida de referencia para cada fecha.

La consideración conjunta de estos elementos aporta la información necesaria, aún teniendo en cuenta las limitaciones que conlleva la escala de referencia (1:18.000), para abordar el análisis del estado del área de estudio en cada uno de los documentos aéreos considerados. La comparación entre cada uno de ellos permite conocer la evolución experimentada en los últimos cuarenta años, realizar un seguimiento de las variaciones del sistema, y del papel que los elementos humanos han jugado en las mismas.

2.3.4. Zonificación y señalización del área de estudio

A la hora de mostrar los resultados obtenidos en los ejercicios de fotointerpretación, se hace referencia a una serie de unidades territoriales en las que ha sido dividida nuestra área de estudio. Esta zonificación ha sido realizada en función de los siguientes criterios: formas que adquieren los depósitos y su evolución a lo largo de los más de cuarenta años estudiados, características y evolución de la vegetación, elementos antrópicos introducidos en el sistema e impactos generados por algunos de ellos. Entre ellos, se ha priorizado la configuración de las “unidades sedimentarias eólicas” (Alcántara-Carrió y Alonso, 2000) que caracterizan el sistema. Estas unidades son las siguientes (figuras II.2 y II.3):

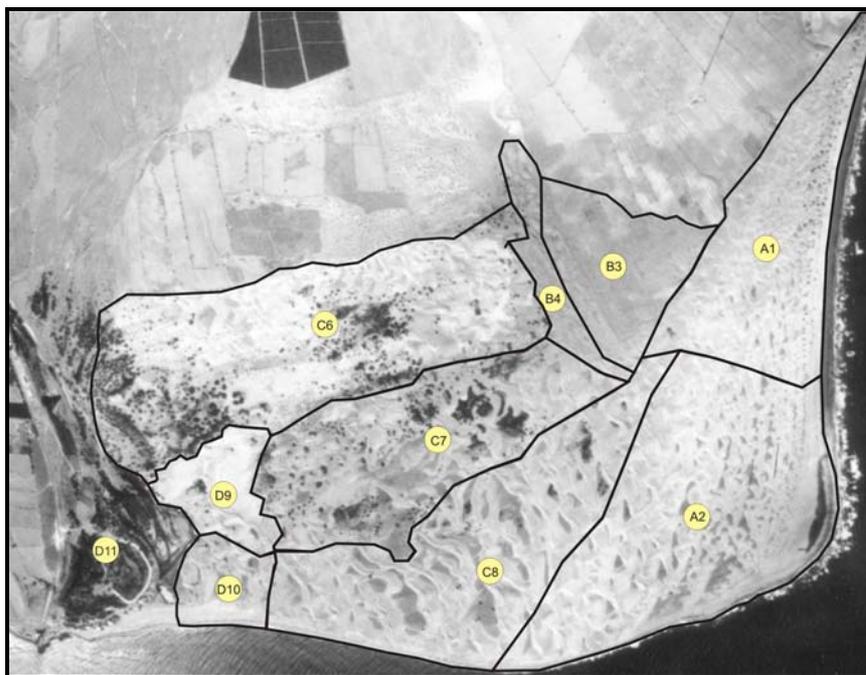


Figura II.2. Unidades territoriales definidas para principios de los años sesenta



Figura II.3. Unidades territoriales definidas para finales de los años noventa

A. Franja del Inglés: con esta denominación nos referimos a la unidad que se localiza en el extremo oriental del sistema, configurando el área de entrada de las arenas. Comprende la playa del Inglés, la punta de Maspalomas -o de la Bajeta- y las dunas más cercanas al litoral. Dada su fisonomía natural, su exposición a los vientos efectivos, la incidencia que en su parte norte ejerce la terraza sedimentaria, la variación fisionómica de los ejemplares de *Traganum moquinii*, la distribución de los equipamientos de playa y la evolución de los impactos ocasionados por éstos, esta unidad puede ser dividida, a su vez, en dos:

- Sector Norte (A1): se corresponde con la zona de entrada de las arenas y las consiguientes acumulaciones dunares de la parte norte de esta franja. Sus límites están definidos por el mar (al este) y la terraza sedimentaria (al oeste). Es la unidad donde los ejemplares de *Traganum moquinii* adquieren su mayor porte. Así mismo, ha sido el área donde, desde los años 60, se ubican la mayoría de los equipamientos de playa (hamacas, kioscos,...).

- Sector Sur (A2): como en el caso anterior, constituye una zona de formación de dunas, y se localiza al sector sur de esta franja. Sus límites están definidos por el mar (al este), la punta de Maspalomas (al sur) y el interior del sistema dunar (al oeste). Al contrario de lo que ocurre en el sector norte, los ejemplares de *Traganum moquinii* presentan portes más reducidos, y los equipamientos de playa han tenido una menor presencia.

B. Terraza sedimentaria: está formada por sedimentos aluviales antiguos, compuestos por depósitos de arenas y cantos de procedencia lávica (esencialmente fonolítica) que están unidos por una matriz arcillosa con cemento carbonatado. Así mismo, se trata del espacio donde hoy se localiza la urbanización del Inglés. En esta área se han considerado tres zonas:

- Sector sur de la terraza (B3): es el espacio por el que se producía el trasvase hacia el interior del sistema dunar de las arenas procedentes del sector septentrional de la franja del Inglés, toda vez que la parte norte de esta terraza estaba ocupada por cultivos, entre finales de la década de los cincuenta y principios de la de los sesenta.

- Sector oeste de la terraza (B4): se corresponde con un sector de acumulación de los fragmentos de rocas y minerales más pesados de las arenas procedentes del sector sur (B3). Por ello, representó el “banco de sedimentos” que alimentaba las unidades interiores (C6 y C7) del sistema dunar. Tradicionalmente fue utilizado como zona de extracción de materiales, primero para la agricultura y, a finales de los años sesenta, para la edificación de la urbanización del Inglés.

- Vértice sur de la terraza (B5): se localiza en el extremo meridional de la terraza sedimentaria. A partir del desarrollo de la urbanización del Inglés adquiere especial importancia, pues se convierte en un área sobre la que se instalan algunas formas peculiares de depósitos sedimentarios. Estas formas se convierten, a partir de ese momento, en el “banco de sedimentos” que alimentará al sector de las hoyas (C7), en el interior del sistema dunar.

C. Interior del sistema: se caracteriza por la presencia de los mayores depósitos de sedimentos eólicos que se localizan en el sistema dunar, aunque en la actualidad, y como consecuencia de la colonización vegetal, presenta una escasa o nula movilidad en sus arenas. Se han considerado tres zonas:

- Área norte (C6): se corresponde con el sector ubicado justo al sur del campo de golf. En el pasado coincidía con el área de depósito y movilidad de los sedimentos que traspasaban por el sur de la terraza sedimentaria (B3). La ocupación de ésta y la desaparición de su fuente de sedimentos (B4) la han transformado hoy en un

área de dunas fijas, salvo en escasos enclaves donde se mantiene un mínimo grado de movilidad sedimentaria residual y terminal.

- Sector de “las hoyas” (C7): se corresponde con el área situada justo al sur de la anterior, y que se encuentra protegida de los vientos efectivos por el sur de la terraza sedimentaria (B3). A pesar de que continúa recibiendo algunos aportes sedimentarios procedentes del vértice sur de esta terraza (B5), en la actualidad en este sector ya aflora el sustrato subyacente, formado por materiales aluviales. En algunos sectores deprimidos, y con predominio de materiales areno-arcillosos, se forman llanuras salitrosas, como consecuencia del ascenso por capilaridad del agua subálvea. Desde los años 60, en esta área es donde se ha producido el mayor incremento de la vegetación de gran porte del interior del sistema.

- Área sur (C8): se corresponde con el área localizada en la franja que abarca desde el sur de la terraza sedimentaria (B3) y del sector de las hoyas (C7) hasta la línea costera de Maspalomas. Constituye el área de tránsito del mayor volumen de sedimentos, desde su entrada en el sistema, por lo que en ella se localizan las mayores dunas móviles.

D. Sector occidental del sistema: Es éste el sector donde culmina el tránsito de las arenas, después de atravesar el sistema dunar desde su área de entrada, la playa del Inglés (A). Se han considerado tres zonas:

- Área oriental del barranco de Maspalomas (D9): se corresponde con un espacio donde, hasta los años 70, se producía un importante tránsito de sedimentos, provenientes del interior del sistema (C6 y C7), antes de entrar en el barranco de Maspalomas (D11). Su papel actual es residual, por lo que al funcionamiento de la dinámica sedimentaria eólica se refiere, pues presenta importantes procesos de

deflación. En este sector se asentaron dos edificaciones turísticas, el Hotel Dunas y el Centro Helioterápico, ya retiradas.

- Entorno de la playa de Maspalomas (D10): Se localiza en la desembocadura del barranco de Maspalomas y constituye un área residual de tránsito de sedimentos provenientes del área sur del sistema interior (C8). Durante los últimos 40 años, se ha mantenido sin experimentar grandes cambios en lo que a la dinámica sedimentaria eólica se refiere.

- Barranco y oasis de Maspalomas (D11): se corresponde con los ambientes húmedos de la desembocadura del barranco, así como el conjunto que forman el palmeral y la charca de Maspalomas, hoy parcialmente urbanizados. Su papel, en la dinámica sedimentaria eólica, es el de un área residual terminal, dado que hacia el oeste no se localizan formas sedimentarias semejantes a las que conforman el sistema dunar.

2.4. Análisis de la evolución durante los años noventa a partir del tratamiento e interpretación de imágenes digitales

El análisis de los datos captados por sensores óptico-electrónicos ofrece algunas ventajas frente a los obtenidos por técnicas analógicas, por lo que complementan, en los últimos años de nuestro análisis, los resultados de la interpretación de las fotografías aéreas. Esas ventajas son, principalmente, la posibilidad de trabajar mediante técnicas digitales, y la de observar la respuesta de las cubiertas territoriales en aquellas regiones del espectro electro-magnético que no son observables por el ojo humano (Chuvieco, 1996).

Por lo que se refiere a la primera ventaja, las imágenes son captadas directamente por sensores que traducen la información a formato digital. En este mismo formato serán tratadas con posterioridad por el usuario, sin que medie ninguna transformación entre

captación y tratamiento, salvo las estrictamente necesarias de cara a la disposición de los datos con el fin de garantizar su correcta visualización y análisis. Así, frente a los documentos obtenidos por métodos analógicos, la pureza digital de los datos es muy alta, dado que no sufren ninguna alteración durante la manipulación de los negativos o los procesos de positivado, como sí ocurre con la fotografía aérea convencional. De esta manera, cualquier tratamiento que se realice sobre estos documentos garantiza unos resultados que provienen directamente de los datos originales.

Respecto a la segunda ventaja, el disponer de información procedente de bandas no visibles del espectro electro-magnético, permite observar determinados rasgos “especiales” de las cubiertas, con lo cual se incorporan nuevas claves en la interpretación del espacio estudiado. Ambas razones pueden comprenderse al conocer el funcionamiento de las cubiertas en el infrarrojo cercano (0,7-0,8 μm). En esta banda, la vegetación sana refleja una gran cantidad de energía, por lo que puede identificarse fácilmente en un análisis discriminatorio, frente a otras cubiertas, debido a su alta reflectividad. De igual forma, la presencia de agua puede ser identificada fácilmente en este intervalo de frecuencias, al absorber una gran cantidad de energía en esta región del espectro, presentando las áreas húmedas una baja reflectividad.

Son estas las razones que nos llevaron, desde el principio, a decidimos por la utilización de imágenes digitales que obtuvieran información de bandas no visibles del espectro electro-magnético. Las tareas realizadas de cara a la obtención de información se exponen a continuación.

2.4.1. Selección de documentos de análisis

Como documento de partida se consideró la imagen multispectral captada en 1993 por el sensor aerotransportado Advanced Thematic Mapper (ATM), del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), y que fue utilizada en la elaboración del Plan Director de la Reserva. En aquel momento, el análisis de la documentación aportada por

este sensor permitió observar algunos rasgos que hasta entonces no se habían podido identificar como, por ejemplo, los contrastes espaciales en la vitalidad de la vegetación del interior del sistema, que fueron explicados por la existencia de fuertes variaciones espaciales del nivel freático. De igual modo, se pudo constatar la existencia de un sustrato aluvial, con alto contenido en arcillas, en las áreas centrales del espacio dunar, que empezaba a aflorar ante la reducción del volumen de las arenas (Suárez y Hernández, 1998b). Por otro lado, este análisis permitió detectar los impactos que los kioscos de playa y los goros cortaviento producían al sur de la playa del Inglés, justo en el área de entrada de las arenas del sistema dunar (Suárez y Hernández, 1998a).

Las características de este sensor son 1,75 metros nominales de resolución espacial, con una resolución espectral que se presenta en la tabla II.4.

Bandas	$\lambda(\mu\text{m})$	Bandas	$\lambda(\mu\text{m})$
1	0.42-0.45	7	0.76-0.90
2	0.45-0.52	8	0.91-1.05
3	0.52-0.60	9	1.55-1.75
4	0.605-0.625	10	2.08-2.35
5	0.63-0.69	11	8.50-13.00
6	0.695-0.75	12	8.50-13.00

Tabla II.4. Configuración espectral del sensor ATM.

Con el fin de comparar resultados entre aquel momento y la actualidad, se consideró necesario contar con un documento semejante que hubiese sido captado tras la modificación en la ubicación de los kioscos. De entre los sensores actualmente disponibles en el mercado, únicamente era útil el IKONOS, de Space Imaging, puesto en órbita el 24 de septiembre de 1999, dado que su resolución espacial nominal es de 1 metro en el modo pancromático. En cuanto a su caracterización espectral, posee una banda ancha ($0,45\mu\text{m} - 0,90\mu\text{m}$), de modo que contiene información procedente de la región del infrarrojo cercano. En nuestro caso, se adquirió una imagen de las dunas de Maspalomas de julio de 2000, cuyo tratamiento permitió obtener significativos resultados, que serán expuestos en el capítulo IV.

2.4.2. Tratamiento digital de la información

Los tratamientos de imágenes captadas por sensores óptico-electrónicos tienen como finalidad disponer los datos de forma que los rasgos territoriales sean identificables, bien numéricamente, cuando el objetivo es medir algún parámetro relacionado con la reflectividad de las cubiertas, bien mediante categorías nominales, cuando el objetivo es la clasificación de la imagen objeto de estudio. Para ello se hace indispensable contar con los datos captados y provenientes de regiones no visibles del espectro electro-magnético. Como se ha comentado con anterioridad, estos datos aportan información acerca de rasgos territoriales difícilmente identificables por otros medios. Estas técnicas de teledetección emplean algoritmos matemáticos para el tratamiento de los datos digitales, considerando tanto el valor numérico (nd) contenido en los pixels (o teselas) que componen las imágenes, como las relaciones de vecindad entre pixels.

En cuanto a los primeros, éstos se basan en las diferencias que presentan las cubiertas en relación a la reflectividad en las bandas captadas por el sensor. En nuestro caso, y por lo que respecta a la imagen ATM, fue elaborado un índice de vegetación, pues el documento resultante permite analizar el grado de vitalidad que presenta esta cubierta y, de forma complementaria, el grado de estrés. Los algoritmos que sustentan este análisis se basan en la diferente reflectividad que presenta la vegetación verde en dos bandas muy cercanas del espectro electro-magnético, las relativas a la radiación de luz roja visible y la infrarroja. Por el contrario, el resto de las cubiertas ofrecen una reflectividad semejante. Es por ello por lo que estos algoritmos se basan en un cociente entre bandas, que permiten “aislar” los valores relativos a la vegetación de los relativos al resto de las cubiertas. Al mismo tiempo, es destacable el hecho de que existirá una mayor diferencia entre la reflectividad captada por ambas bandas conforme la vegetación se encuentre en mejor estado, por lo que el resultado del cociente será mayor cuando la cubierta esté más sana, y menor cuando esté enferma o presente algún signo de estrés.

Para esta investigación se hizo uso del conocido índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), que hace referencia a que los valores están normalizados. Es decir, que el resultado se aproxima a 1 conforme la vegetación se encuentra en mejor estado, y a -1 si se trata de cubiertas que nada tienen que ver con la vegetación. Sin embargo, es necesario aclarar que este índice se realizó haciendo uso de los nd originales, es decir, sin realizar ninguna conversión a parámetros físicos (reflectividad), por lo que los resultados obtenidos se pueden considerar como relativos, pero en ningún caso como absolutos.

Así mismo, fueron realizadas operaciones de realce. Éstas tienen como objetivo la mejora de las imágenes, con el fin de facilitar el análisis visual de los datos que contienen. Estas operaciones se incluyen entre los métodos de ajuste del contraste, procedimientos encaminados a adecuar la resolución radiométrica de las imágenes a la capacidad del sistema informático en el que éstas son tratadas.

Cuando el objetivo es visualizar una respuesta espectral muy reducida, que pasaría desapercibida para el ojo humano, se aplican técnicas de expansión del contraste. Éstas permiten visualizar, en un mayor número de tonos de gris, unos rangos digitales muy estrechos, mediante la aplicación de una tabla de referencia del color (CLUT), que haga coincidir los valores seleccionados con la totalidad del margen dinámico de la tarjeta gráfica (Pinilla, 1995), mientras el resto de los valores digitales quedan engrosados en los valores visuales extremos. Esta técnica de ajuste fue aplicada para la imagen IKONOS, con el fin de conocer algunos rasgos relativos a los valores de radiación más baja que presentaba la imagen, localizados, la mayor parte, en el mar. Para ello se realizó una ecualización del histograma, método de ajuste de contraste basado en las frecuencias. El objetivo era conocer si existían sedimentos en suspensión en el sector marino oriental de la playa del Inglés.

Una de las operaciones más utilizadas para conseguir aislar los valores seleccionados es el empleo de pseudo-color, que asigna una paleta tricromática a una banda

monocromática de modo selectivo. Así, los tonos de gris se convierten en colores, pudiéndose diferenciar mejor los rasgos buscados. Esta técnica fue utilizada, igualmente, en la imagen resultante tras la expansión del histograma.

Por otra parte, los dos componentes comentados con anterioridad (valor digital y relación con los valores vecinos) son considerados en los tratamientos de filtrado de imágenes, siendo las técnicas más empleadas si el objetivo es suavizar o resaltar determinados rasgos espaciales. Cuando lo que se persigue es esto último, permiten la localización de elementos lineales en el territorio, siendo por ello aplicables en la identificación y caracterización de pasillos de sombra eólica.

Los filtros digitales son unas transformaciones que, a pesar de afectar a la totalidad de la imagen, son realizadas mediante operaciones locales (Chuvieco, 1996). Entre ellos, los más utilizados son los denominados filtros lineales, que son operaciones de convolución de la imagen original, mediante la aplicación de unas funciones de entrada. Estas funciones dependen de una matriz deslizante, que suele ser de 3 x 3 elementos o coeficientes de peso (Pinilla, 1995). Dependiendo del objetivo del análisis, así será la forma que adquiera el filtro. De esta manera, si la intención es homogeneizar los datos de una imagen, se aplicarán los denominados filtros de paso bajo, consistentes en el uso de variables estadísticas de tendencia central, tales como la media o la moda. Por el contrario, cuando la intención del analista es reforzar los componentes de alta frecuencia sin eliminar los de baja, se atiende al uso de los filtros de paso alto. Con estos últimos se aumenta el contraste original de cada pixel con respecto a los vecinos, por lo que se verán reforzadas las diferencias espaciales en aquellas zonas que, ya de por sí, presentan una alta variabilidad con respecto a los datos originales.

En esta línea, uno de los métodos más utilizados es el denominado refuerzo de borde, que permite detectar fronteras entre áreas contiguas de la imagen con independencia de su dirección. Mayor interés tiene en nuestro caso la aplicación de los denominados filtros

direccionales, que utilizan coeficientes de peso distribuidos de tal forma que realzan los rasgos lineales de la imagen, primando las direcciones de la variabilidad. Entre ellos, se pueden utilizar filtros omnidireccionales o direccionales con sentido (también denominados filtros de Prewitt). Estos últimos son los filtros que presentan mayor interés en nuestro estudio, por cuanto podemos determinar de antemano la dirección que muestran los pasillos de sombra eólica, con una componente direccional NE-SO, coincidente con la de los vientos dominantes. En este sentido, el diseño de los filtros fue desarrollado buscando la componente transversal, por lo que se aplicaron dos matrices direccionales, con componentes NO y SE, cuyos coeficientes se muestran en la tabla II.5.

1	1	1
1	-2	-1
1	-1	-1

-1	-1	1
-1	-2	1
1	1	1

Tabla II.5. Coeficientes de filtrados direccionales aplicados: NO (izquierda) y SE (derecha)

Este método fue implementado tanto sobre la imagen pancromática del IKONOS como sobre la banda del infrarrojo cercano de la imagen ATM. Los resultados digitales obtenidos tras estas operaciones dan un rango de unos 1500 valores para la totalidad de la imagen resultante, situados entre -830 y 670. De ellos, aproximadamente un 25% se corresponden con los relativos a los pasillos de sombra eólica, cuyos valores se sitúan entre los -210 y 170 para ambas imágenes.

De igual forma, tras la elaboración de los filtrados se optó por realizar unas mejoras visuales en la imagen, a través de la expansión del contraste y el empleo de pseudo-color. En relación con el primer tratamiento, los valores correspondientes a los pasillos de sombra eólica representaban aproximadamente el 25% de los valores digitales de la imagen (375 de 1500 valores posibles), por lo que la operación aplicada para aislarlos consistió en asignar los 256 tonos de gris visuales a ese rango de datos digitales.

2.4.3. Corrección geométrica de los documentos

Al igual que con los fotogramas aéreos, con el fin de que los resultados de los tratamientos fueran comparables a nivel espacial, se procedió a la corrección geométrica de los documentos finales. Los puntos de control considerados fueron del orden de la decena para cada una de las imágenes y la corrección se realizó considerando una función lineal, dado que, a diferencia de las imágenes fotográficas, las deformaciones no eran excesivas. Por último, y para perder el menor número de datos originales, el volcado de los registros en las nuevas rejillas se realizó mediante la técnica del “vecino más próximo”.

2.5. Elaboración e interpretación de perfiles topográficos

Dado que la erosión de un determinado espacio se expresa por una pérdida volumétrica de materiales, se hace necesario contar con información acerca de las variaciones experimentadas por ese volumen (Ojeda, 2000) durante el período estudiado. El método más adecuado, cuando se tienen datos suficientes, es mediante la generación de Modelos Digitales de Elevaciones (MDE). Estos modelos, debido su naturaleza simbólica y numérica, permiten una gran precisión en la representación del relieve, en el análisis de las variables que lo configuran, así como en la modelización de algunos procesos, gracias a las relaciones de correspondencia que establecen con la realidad (Felicísimo, 1994).

Sin embargo, no siempre es posible la realización de estos modelos, dada la carencia de documentos fuentes. En nuestro caso, esta carencia estuvo motivada por la inexistencia de negativos positivados; la consideración, durante años, de Canarias como objetivo militar de primer orden, y la presencia de dos “casamatas” (instalaciones de vigilancia militar en el litoral), ubicadas en sendas playas del sistema dunar motivó, en su momento, que los organismos encargados de velar por la seguridad del Estado, “recortaran” (literalmente) amplias áreas alrededor de donde estos equipamientos militares se ubicaban. De este modo, los únicos documentos originales se encuentran en dependencias militares, y

únicamente se puede acceder a copias en papel. Estas copias carecen de la calidad suficiente como para abordar con absoluta certeza la elaboración de estos MDE, especialmente en cuanto a los documentos de principios de los años 60 se refiere. En este sentido, la inexistencia de puntos de control exactos no garantiza, igualmente, la elaboración de un modelo con suficiente exactitud.

Una opción alternativa consiste en la elaboración de estos MDEs a través de métodos más tradicionales, como la interpolación de las altitudes presentes en los mapas topográficos. En nuestro caso, contábamos con dos documentos de inapreciable calidad: los de 1962 (Cabildo Insular de Gran Canaria) y 1996 (Grafcan- Gobierno de Canarias), que presentaban altas densidades de cotas altimétricas. Sin embargo, el tratarse de un sistema dunar hizo, una vez más, inadecuado el método. Los trabajos desarrollados de digitalización manual e interpolación de los datos, a través del método de medias móviles con ponderación de la inversa de la distancia (Felicísimo, 1994), no dieron los resultados deseados. La principal razón estriba en que nos encontramos ante un área compleja desde el punto de vista topográfico, de manera que existe una gran variabilidad de formas correspondientes a la aceleración o acumulación del sedimento, lo que determina una continua variación de la altitud. Es por ello que la elaboración de MDEs para esta área sólo es abordable a través de una densidad de puntos mayor a la disponible en las fuentes actuales.

Por esta razón se decidió, finalmente, la elaboración de perfiles altimétricos para las distintas unidades sedimentarias eólicas, y para los dos años comentados de los que disponíamos de información precisa (figura II.4). Con el fin de evitar errores, sobre todo relativos a la presencia de formas dunares que no aparecieran en ambos documentos, se trazaron un total de tres perfiles paralelos por cada unidad. Los datos se volcaron en un sistema de cálculo, identificándose la ubicación de cada muestra en coordenadas UTM. A partir de aquí, se procedió a la interpolación de los puntos intermedios (no muestrales), con el fin de garantizar un cálculo adecuado.

El método de interpolación elegido para esta tarea fue el de medias móviles con ponderación de la inversa de la distancia. Su elección estuvo condicionada por la naturaleza del terreno, ya comentada, dado que el método permite la consideración de elementos puntuales que no guarden un orden regular con los datos de su alrededor. Por ello resulta óptimo para trabajar en ambientes dunares, pues coexisten áreas cuya altitud es mínima, con otras de acusadas pendientes y mayor altitud, por tanto, fuertes variaciones de altitud en espacios muy reducidos.

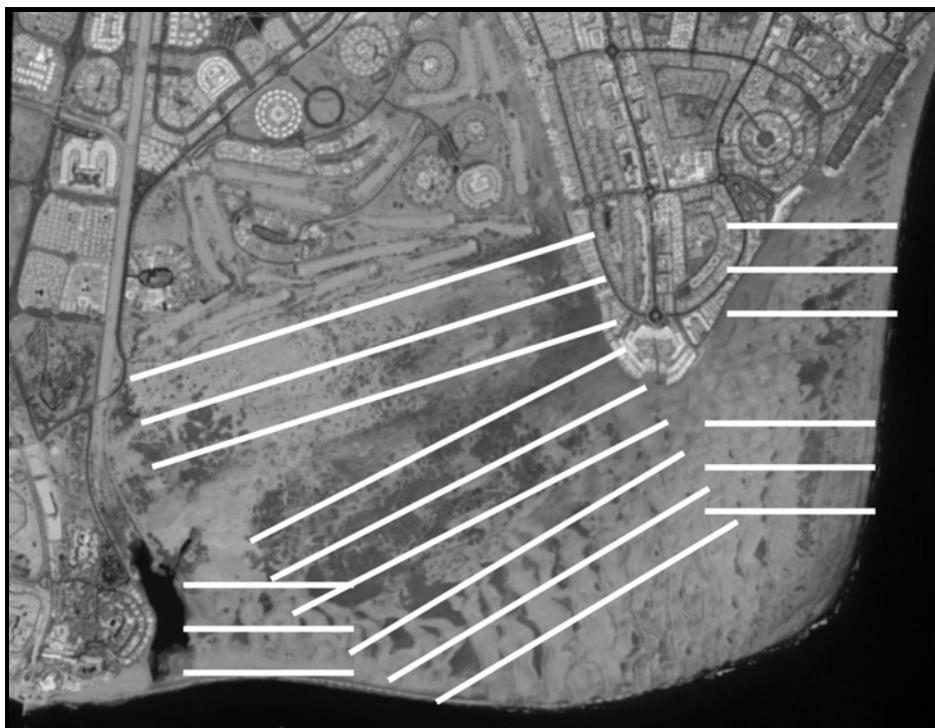


Figura II.4. Trazado de los perfiles altimétricos

Este método supone que la variable estimada sigue unos gradientes lineales con la distancia. De esta manera, el valor de un punto no muestral es estimado en función de la media de los valores de los puntos muestrales más cercanos, y en relación inversa a la distancia que los separa; es decir, cada dato se interpola por la media ponderada de los datos de los puntos muestrales más cercanos. Su expresión se define:

$$Z_n = \Sigma (Z_m W_{nm}) / \Sigma W_{nm}$$

donde Z_n es el valor a estimar en el punto no muestral, Z_m el estimado en el muestral y W_{nm} es un factor de ponderación que actúa sobre el valor de cada punto muestral. Este factor, relacionado con la distancia existente entre un punto muestral m y uno no muestral n , se calcula de la siguiente forma:

$$W_{nm} = 1 / d_{|n-m|}$$

siendo $d_{|n-m|}$ la distancia entre el punto muestral y el no muestral.

Finalmente, y por la misma razón aludida de evitar errores puntuales, se tomó como perfil altitudinal de referencia, para cada unidad, el valor medio de los perfiles calculados. Por último se abordó el cálculo del volumen de arena para cada época, haciendo uso de estos perfiles de referencia.

La observación conjunta de los perfiles de cada unidad, en las dos épocas en que se realizaron, nos permite analizar los cambios ocurridos con respecto a las variaciones experimentadas por el sedimento, así como obtener cálculos relativos a pérdidas sedimentarias medias, tanto del conjunto, como de cada unidad ambiental considerada.

A modo de aclaración, conviene mencionar que, en 1994 se aborda la normalización cartográfica de Canarias¹, que se hace efectiva a partir de la redacción del Plan Regional de Cartografía de Canarias². Entre sus principales novedades está la adopción de un nuevo marco geodésico de referencia, el REGCAN95, con nuevas coordenadas calculadas en abril de 1995. Es por esta razón por lo que, a partir de ese momento, resultan inútiles los intentos por referenciar los nuevos productos en relación con los documentos

¹ DECRETO 125/1994, de 1 de julio, por el que se crea el Consejo Cartográfico de Canarias y se dictan reglas de normalización cartográfica -B.O.C. 1994/104 de 24 de Agosto-

² RESOLUCIÓN de 12 de julio de 1994, de la Dirección General de Urbanismo, por la que se adjudica el contrato de la asistencia técnica consistente en la redacción del Plan Regional de Cartografía de Canarias - B.O.C. 1994/095 de 03 de Agosto-

cartográficos de épocas anteriores, sin la necesaria transformación. Esta transformación fue abordada, en nuestro caso, antes de introducir los datos en el sistema, a través de la corrección de las coordenadas de la cartografía de 1996, superponiendo la cuadrícula de referencia de la cartografía de 1962, y realizando un control sobre las variaciones de los datos altitudinales.

2.6. Caracterización actual del sistema a través de trabajo de campo

El trabajo de campo es una herramienta esencial cuando el objetivo es realizar el seguimiento de un fenómeno natural, y adquiere especial relevancia cuando éste se realiza en un medio, como el de Maspalomas, que presenta una dinámica muy activa. En este sentido, es un apoyo necesario a los trabajos de fotointerpretación y tratamiento de imágenes digitales por varias cuestiones: en primer lugar, supone un salto de escala que permite conocer en detalle determinados rasgos que, a una escala menor, pueden pasar por alto; por otro lado, supone un conocimiento más exacto de las variaciones espacio-temporales que se producen en el objeto de estudio, toda vez que los documentos relativos a fotografías aéreas e imágenes de satélite captan únicamente un momento puntual dentro de esa dinámica.

En nuestro caso, el trabajo de campo realizado se ha establecido siguiendo varias direcciones: el seguimiento de la velocidad de desplazamiento de las dunas, el seguimiento de procesos naturales mediante fotografías tomadas regularmente, la toma de muestras de material sedimentario, la realización de inventarios y perfiles de vegetación, y la monitorización de la dirección y velocidad del viento.

No obstante, dado que en el transcurso de la investigación, y conforme ésta avanzaba, iban surgiendo nuevas preguntas, todas las actividades que engloban los trabajos de campo no se han desarrollado al mismo tiempo. En conjunto, el trabajo de campo se inició, con otros objetivos, durante la realización del Plan Director de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas, entre 1995 y 1996. Con posterioridad, fue

retomado en junio de 1999, comenzando entonces regularmente las campañas de campo para la recogida sistemática de datos.

2.6.1. Observaciones de campo y seguimiento fotográfico

Los primeros acercamientos al sistema se basaron en observaciones de campo, con el objetivo de conocer los elementos que, siguiendo la bibliografía científica, configuraban las claves de su funcionamiento. Sin embargo, la localización de formas y procesos, no caracterizados, obligó a desarrollar nuevas observaciones que se convertirían en claves para la interpretación final del funcionamiento del sistema dunar. Estas observaciones, cuando no podían ser realizadas por otros medios, fueron registradas a través de la descripción geográfica. Por otro lado, las observaciones de campo permitían conocer en detalle algunos procesos que se desarrollan en el sistema, y que únicamente son constatables a una escala de menor detalle. Tal es el caso de la evolución que experimenta la llanura de deflación que se localiza al sur de la playa del Inglés que, a pesar de que sólo puede ser medida mediante documentos aéreos, necesita de la observación de campo para caracterizar los factores que condicionan su evolución como, por ejemplo, el tamaño y la forma de las dunas que se localizan en este sector o la colonización vegetal.

Por lo tanto, podemos aseverar que la observación de campo fue la técnica más utilizada a la hora de tomar datos acerca de los distintos elementos y procesos que caracterizan el sistema objeto de estudio. La descripción geográfica, el establecimiento de relaciones entre los elementos y los procesos observados, y el apoyo de las interpretaciones realizadas a través de otras fuentes, dieron cuerpo a la mayoría de los resultados que se plantean a lo largo de la investigación.

El seguimiento efectuado se apoyó también en la realización de fotografías. Esta tarea combinó dos procedimientos: el seguimiento sistemático, y los trabajos puntuales. En cuanto al primero, uno de los ejercicios iniciales afrontados, fue el seguimiento de las

variaciones del volumen de sedimentos en las playas, planteado por algunos autores tanto como resultado de las variaciones estacionales, como de la evolución multianual del sistema. Este ejercicio, llevado a cabo de forma sistemática durante todo el período en que se desarrolla el trabajo de campo, pretendía caracterizar cualitativamente los cambios estacionales, separando las variaciones derivadas de los procesos marinos, de los eólicos, dado que estos últimos definen nuestro ámbito de estudio. Para ello, se procedió a la realización de un seguimiento, mediante fotografía de campo de tres puntos, situados en ambas playas (se consideraron como objeto de referencia las casamatas que se ubican en ambas áreas) y en la punta de la Bajeta (se tomó como referencia el kiosco 8). La razón por la cual no se plantearon otras formas de toma de datos, mediante la utilización de equipos topográficos (estaciones totales, niveles o teodolitos) fue el hecho de que, en ningún caso, se pretendía estudiar la dinámica sedimentaria litoral, sino exclusivamente las grandes variaciones que se producían en relación con la desaparición estacional de grandes volúmenes de arena, en determinadas áreas, y comprobar el alcance que éstas tenían hacia el interior del sistema.

Otra de las observaciones realizadas de modo sistemático tenía como objetivo caracterizar la dinámica del sistema, tanto desde el punto de vista geomorfológico como biogeográfico, ejercicio que, además, servía de apoyo directo a los trabajos de fotointerpretación. Este seguimiento se abordó teniendo presente que una caracterización certera del sistema, y de su funcionamiento, hubiese sido poco rigurosa si no se tiene en cuenta su fenología, cuestión que requiere un buen conocimiento del terreno.

Cabe destacar, en esta línea, el seguimiento realizado sobre la vegetación y las condiciones ambientales del sector de las hoyas, así como sobre los cambios experimentados por la vegetación del interior del sistema, conforme a la época del año y las condiciones de humedad y precipitación. De igual modo, y por lo que respecta a las formas del relieve, se realizó el seguimiento de algunos elementos claves para la interpretación del funcionamiento anual del sistema, como las formas de acumulación o la

aparición del *lagoon* estacional al sur de la playa del Inglés. Por último, en esta misma línea, aunque de forma ocasional, se realizó el seguimiento sobre algunos hechos aislados que se produjeron durante el período de elaboración del trabajo de investigación, pero que, de igual forma que los anteriores, forman parte del funcionamiento del sistema. Entre ellos cabe destacar los cambios experimentados por el barranco de Maspalomas en su desembocadura, a raíz de un episodio de lluvias intensas, las consecuencias que tuvo la eliminación de los goros situados al sur de la playa del Inglés, o el crecimiento experimentado por la llanura salitrosa localizada en este mismo sector.

Otro de los propósitos del trabajo de campo fue la identificación de posibles impactos ambientales inducidos por las actividades turísticas. De este modo, se localizaron algunos impactos que se desarrollan de forma generalizada en todo el ámbito del sistema dunar, como son las actividades realizadas por los usuarios de las playas en el área de las dunas litorales, el tránsito de vehículos por el interior del sistema dunar, el abandono de basuras o la construcción de estructuras para la protección frente al viento (comúnmente denominadas “goros cortaviento”). De igual forma fueron de enorme interés las observaciones realizadas, de forma sistemática, sobre algunos ejemplares de *Traganum moquini* situados en la cañada de la Penca, en la playa de Maspalomas. Por su parte cabe destacarse, igualmente, el seguimiento realizado para determinar la incidencia de los kioscos de playa en la formación de pasillos de sombra eólica, así como de los efectos que su cambio de ubicación periódico, ordenado por parte de la administración regional, tenía a la hora de minimizar su impacto.

2.6.2. Seguimiento de la velocidad de desplazamiento de las dunas

Otra de las cuestiones que pretendía abordar esta investigación era la velocidad de desplazamiento de las dunas, aspecto considerado necesario desde el Plan Director de la Reserva, dado que resulta un indicador esencial de la dinámica sedimentaria y de las interacciones urbanísticas en ella. Las referencias bibliográficas señalan que las acumulaciones sedimentarias se mueve entre 2 y 5 metros anuales, si bien esta dinámica

no es la misma en todos los ámbitos del sistema (Nadal y Guitián, 1983; Martínez, 1986; Naranjo, 1999), pero estos datos no estaban contrastados empíricamente.

Al igual que ocurriera a la hora de optar por la fotografía de campo, para hacer el seguimiento de la variación del sedimento en las playas, también en este caso se decidió prescindir de la toma de datos mediante el uso de herramientas topográficas. La razón, en este caso, estriba en la dificultad que implica localizar puntos de referencia fijos en un sistema que es muy móvil, más aún cuando para la realización de una medida, mediante estas herramientas, es necesario hacer uso de varios puntos, con el fin de fijar la posición en el espacio. De la misma forma, fue desechado el uso de sistemas GPS, toda vez que los ofrecidos por el mercado a bajo coste no garantizan unas medidas sin errores, cuando menos, centimétricos, por lo que no son útiles en nuestro caso de estudio. Al tiempo, los sistemas “profesionales” presentan unos costes tan elevados que, desde la investigación académica, raramente se pueden afrontar, al menos en nuestro caso.

Por este motivo la fórmula adoptada se basó en la selección de una serie de dunas, repartidas por el sistema, de modo que abarcaran los distintos ambientes que caracterizan la zona de estudio. Siguiendo un muestreo estratificado, cercanos a ellas, fueron localizados una serie de referencias fijas, a partir de las cuales se fue midiendo regularmente la distancia a la base de la duna.

Los enclaves seleccionados para la toma de datos fueron elegidos atendiendo a varias razones: la primera de ellas fue su representatividad dentro del sistema dunar, de modo que sirvieran para caracterizar los principales ámbitos presentes en el sistema, de acuerdo a la dinámica de los sedimentos. De igual manera, en la selección de estos puntos se tuvo en cuenta la existencia de elementos de referencia fijos (postes, bases de hormigón,...), que pudiesen pervivir durante un período de tiempo, suficientemente largo, como para garantizar el registro de los datos durante todo el período de observación. Dado que la localización de elementos con estas características fue tarea imposible en todos los

ámbitos objeto de estudio, algunos puntos debieron ser marcados a través de la fijación de estacas y, así y todo, no siempre se consiguió mantener la referencia. Dos son las razones que lo explican: por un lado, el carácter muy dinámico del sistema objeto de estudio. En este sentido, se trata de una dinámica de tal naturaleza, que el propio sedimento termina por cubrir los elementos de referencia, con lo que se imposibilita el continuo seguimiento. En estos casos, la solución adoptada consistió en el paulatino desplazamiento del punto de referencia a medida que el sedimento lo cubría. Por otro lado, nos encontramos ante un espacio donde se produce una afluencia continua de usuarios y de personal de mantenimiento. En cuanto a los primeros, parece que tuvieron por costumbre ir alterando las condiciones que se encuentran, sean éstas naturales o antrópicas, por lo que el riesgo de desaparición de puntos de control fue una constante en nuestro trabajo, que se vio hecha efectiva en algunas ocasiones; en cuanto a los segundos, las acciones realizadas, en muchos casos haciendo uso de maquinaria pesada, produjo la alteración, igualmente, de algunos puntos de observación.

Por estas razones comentadas, a lo largo del período en que se desarrolló este ejercicio, varios puntos de control dejaron de ser operativos. Sin embargo, la mayoría de ellos tuvo una “vida útil” suficientemente larga como para garantizar la toma de datos durante un período de 12 meses.

Inicialmente se establecieron un total de once puntos de control, de los que siete mantuvieron registros hasta el final de la toma de datos (figura II.5). Las particularidades de cada uno de estos puntos se explican a continuación, considerando su localización en las unidades territoriales descritas anteriormente:

- Sector occidental (D): en esta zona, caracterizada por ser el lugar donde concluye la movilidad de los sedimentos, se localizaron varios puntos de control, de los que tres mantuvieron registros hasta el final de la toma de datos. Responden a dos geoformas diferentes, la primera localizada en la playa de Maspalomas (D10), y la segunda entre esta unidad y el sector oriental del barranco (D9):

- V1: se trata de una duna aislada de unos 2,5 m de altura y unos 20 m de largo, de morfología barjanoide, que se mueve hacia el frente de la charca, cubriendo los postes y las cuerdas que marcan el límite sur de la Charca. Sobre este punto se realizó, igualmente, seguimiento fotográfico, facilitado por la existencia de los postes y cuerdas, que actuaron como elementos de referencia visual. Esta duna se mueve sobre el sustrato humedecido por capilaridad, por lo que es fácil identificar su avance “neto”, es decir, el contacto del pie de la duna con la rasante del terreno. La observación se realizó durante un año, contabilizando un total de 18 registros. Dada la notable velocidad de avance que presentó esta duna durante el período de observación, el punto de referencia debió ser desplazado en dos ocasiones, registrándose el cambio, y realizando las correcciones oportunas para mantener las diferencias de forma correcta.

- V2 y V3: se trata de una duna transversal que se extiende desde el contacto con la playa de Maspalomas hasta el sector medio de la charca, avanzando, en este último tramo, sobre un montículo de escombros, y entrando en contacto con la vegetación más cercana a la charca en su margen oriental. Presenta unas dimensiones de unos 200 m de longitud por unos 4 m de altura media, por lo que se alarga hacia el interior del sistema. Frente a la descrita anteriormente, y al moverse sobre el montículo de escombros, el contacto entre su pie y la rasante del terreno no es “neto”, sino que se realiza de forma progresiva, manteniendo unas condiciones de pendiente que disminuyen conforme lo hace la altura. Inicialmente, en esta duna, se situaron 4 puntos de referencia, de los que algunos registraron, a su vez, varias direcciones de avance, que permitían corregir posibles errores de observación. De todos estos puntos, solamente se pudo mantener la continuidad de las observaciones hasta el final en los V2 y V3, obteniéndose 17 registros para cada uno.

- Sector interior del sistema (C): en esta unidad mantuvieron registros durante un año tres puntos de control, dos en la zona interior (C6) y uno en la llanura salitrosa que se localiza en el sector de las hoyas (C7). Inicialmente, se realizaron mediciones en el sector sur (C8), aprovechando la existencia de dos mástiles de banderas indicativas de señales de baño, que se mantenían por estar sujetos a dos grandes cuerpos cúbicos de hormigón. Sin embargo, los escasos registros que se obtuvieron mostraban una altas tasas de inmovilidad del sedimento en la dirección E-O. La interpretación de este hecho será explicada en el capítulo correspondiente a los resultados de esta investigación. Por otro lado, los registros dejaron de tomarse cuando las mareas vivas de julio de 2000, destruyeron estas referencias. En relación a los puntos de control antes señalados, se trata de los siguientes:

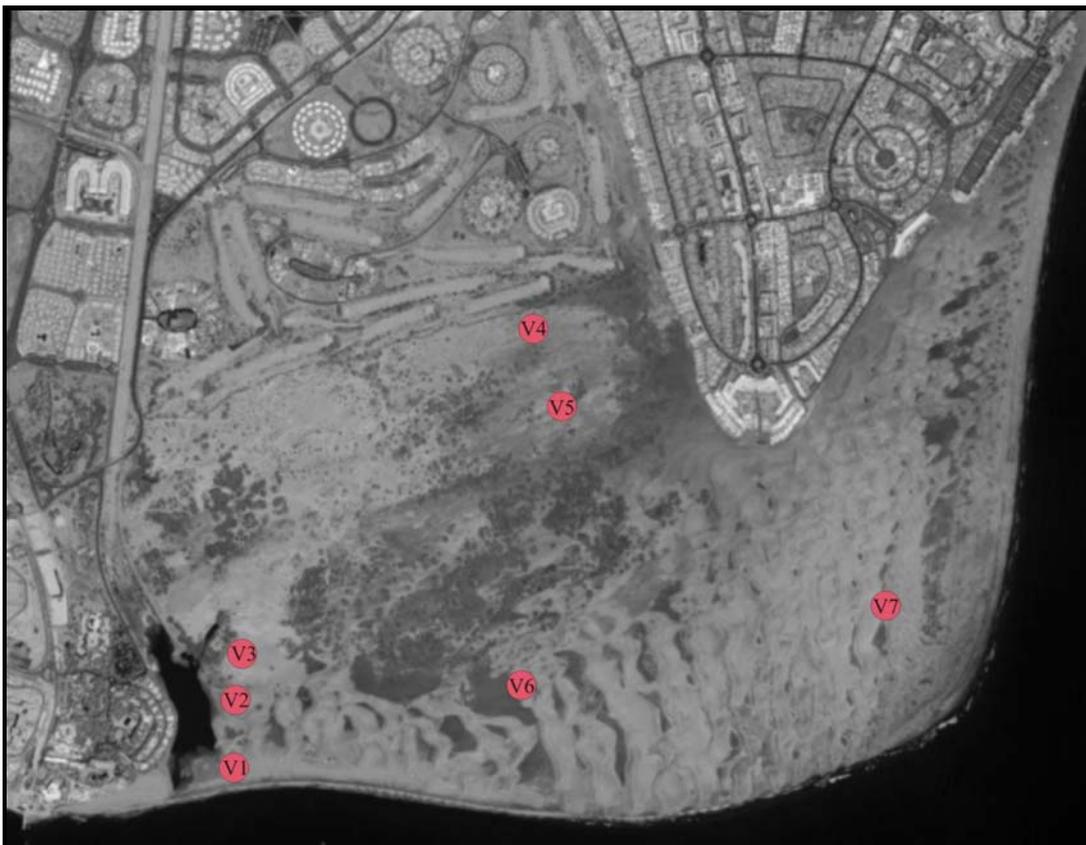


Figura II.5. Puntos de control para el seguimiento de la velocidad de desplazamiento de las dunas

- V4: se trata de la última duna aislada que se sitúa en el campo de dunas fijas del interior. Es una duna compuesta y está parcialmente colonizada por la vegetación, cuyo frente de avance está representado por una forma barjanoide. Su altura es de unos 3 metros y la anchura de su frente de unos 12 metros. En sus caras norte y oeste cabalga sobre el sistema de arenas fijas, al este se manifiestan formas producidas por la superposición de, al menos, dos dunas, mientras su lateral sur está condicionado por la presencia de una duna estabilizada por la vegetación. Tras ella aparecen arenas móviles hasta una veintena de metros, que avanzan sobre las arenas fijadas por la vegetación. En este punto medimos en varias direcciones (30°, 60°, 90° y 120°), considerando el frente de avance de la duna. A pesar de la escasa velocidad mostrada, en enero de 2001 el punto de referencia debió ser desplazado para impedir que fuera cubierto por las arenas, registrándose, desde ese momento, únicamente la dirección de 90°. De ella, se cuenta con 13 controles.

- V5: esta duna se encuentra en la franja de transición hacia el sector de las hoyas (C7), a unos 200 metros del punto de control anterior. Al igual que esta última, se trata de una duna compleja, con diversas formas relictuales móviles que avanzan sobre las arenas fijas que caracterizan el sector, remontando, en algunos casos, dunas fijadas por la vegetación. Su frente de avance se caracteriza por presentar una cobertura de *Cyperus capitatus* que coloniza el espacio interdunar, por lo que resulta relativamente fácil identificar su avance. El número de registros es de 14.

- V6: en este caso, las observaciones se realizaron en una duna transversal que avanza sobre la llanura salitrosa que se localiza al sur de las hoyas (C7). Al moverse sobre un estrato húmedo, el contacto del pie de la duna es fácilmente reconocible. Esta duna presenta unas dimensiones de unos 5 metros de altura por unos 50 m de frente y, al igual que en otros casos, en principio se realizaron

registros en tres direcciones diferentes (60°, 90° y 110° conforme al frente de avance). Sin embargo, en diciembre de 2000 el punto de observación fue arrancado del lugar, por lo que se debió establecer otro punto de referencia, optándose por recoger los datos únicamente en la dirección central, perpendicular al frente de avance. Los registros disponibles, finalmente, relativos al punto central de observación, fueron 16.

- Sector sur de la playa del Inglés (A2): en esta unidad se localizó el punto de control V7, en la primera línea de dunas móviles de la playa del Inglés, concretamente en el lugar donde comienzan a configurarse los cordones transversales, si bien presentan características geomorfológicas que los aproximan a barjanoides. En nuestro caso, elegimos para su seguimiento el frente de un sector de unos 10 metros de altura que, por su cara sur, ha “atrapado” a una duna que se desplazaba menor velocidad, sobre la que cabalga. Los controles tomados en este punto son 20, si bien, dado el gran avance que presentaba, los puntos de referencia se debieron cambiar en tres ocasiones.

2.6.3. Caracterización de los sedimentos

Los materiales sedimentarios en los ámbitos supramareal (trasplaya y campo dunar) de Maspalomas están representados esencialmente por partículas detríticas de diferentes tamaños (cantos, arenas, limos y arcillas) y depósitos de rocas sedimentarias originadas en las transgresiones cuaternarias (calcarenitas y conglomerados, entre otros). Estos materiales sedimentarios están constituidos por componentes organógenos (mallas de algas, fragmentos de conchas, foraminíferos,...) y líticos (silicatos, carbonatos, óxidos, fragmentos de rocas, vidrios,...).

El trabajo desarrollado se ha centrado en la caracterización de los materiales que aparecen en todo el sistema, es decir, el sedimento arenoso; pero también de los materiales que subyacen bajo éste, que afloran de forma localizada y que son claves para entender la historia geológica del sistema. Se ha abordado su caracterización desde el punto de vista

petrográfico, así como de su distribución espacial. Del mismo modo, se ha procedido a la caracterización textural y al análisis de la conductividad eléctrica y del pH del material eólico superficial, información que, conjuntamente con la anterior, permite explicar algunos de los rasgos más significativos que determinan la distribución de los hábitats.

En cuanto al sedimento arenoso, su composición no parece homogénea en todo el ámbito del sistema dunar, sino que manifiesta variaciones espaciales, en función de diversos factores, como el viento, las geoformas o la distancia a la línea de costa. Así, a partir de las variaciones del viento, el sedimento se moviliza selectivamente, conforme al peso de los granos de arena, dependiendo, por tanto, de su tamaño y composición. De igual forma, su mayor o menor exposición a los vientos efectivos –que depende también de la disposición de las geoformas- interfiere en esta selección. Por último, también la movilidad del sedimento arenoso está relacionada con la presencia de otros factores, naturales o antrópicos, que inducen variaciones en la exposición del sedimento a los vientos efectivos. Entre los primeros cabe citar la presencia de ejemplares vegetales, o el grado de humedad del sustrato, mientras que las edificaciones y los equipamientos turísticos, ya comentados, conforman los elementos humanos que interfieren en la dinámica sedimentaria eólica.

Por ello, la caracterización del sedimento, conforme a su composición, constituye una de las claves de este trabajo, por cuanto se trata de analizar el impacto que el desarrollo de las infraestructuras turísticas ha tenido en el sistema. En este sentido, es previsible que las variaciones inducidas en el sedimento sea una de las consecuencias más inmediatas. De hecho, durante los trabajos de investigación realizados para la redacción del Plan Director de la Reserva, se constató la presencia de algunas áreas que manifestaban, conforme al sedimento, una característica diferencial con respecto al resto del sistema: una muy alta reflectividad en todas las bandas del sensor ATM, lo que se interpretó entonces como indicativo de una mayor composición de elementos organógenos. Esta área se ubica en el sector occidental del sistema dunar, y constituye el destino final de los sedimentos que

transitan por las unidades interiores. A la vista de estos resultados, se llegó a la conclusión de que la urbanización ubicada en la terraza sedimentaria del Inglés había supuesto un freno a la dinámica natural de los sedimentos, al actuar como un obstáculo insalvable, de modo que los vientos entraban en el área interior libres de arenas. Como consecuencia, el transporte en este sector se realiza removiendo los sedimentos preexistentes en el lugar, anteriores al proceso urbanizador, de modo que los más ligeros serían desplazados a mayor distancia, acumulándose en el área observada.

Para su caracterización, se procedió a la toma de muestras de sedimento arenoso en distintas partes del sistema dunar (figura II.5). Los puntos de muestra fueron seleccionados siguiéndose un muestreo estratificado, y de acuerdo a las unidades territoriales descritas con anterioridad, de modo que fueran representativos de los distintos ámbitos que conforman el sistema. Sus características principales pueden observarse en la tabla II.6.

Muestra	Unidad	Observaciones
A1	C6	En muchos espacios interdunares del interior del sistema se observa la presencia de un cierto contenido de limos y arcillas en las arenas, coincidiendo con la aparición de materiales aluviales y areniscas en el sustrato
A2	C6	Se tomaron muestras en el frente oriental (de avance) de la duna interior, por ser representativa del material “residual” móvil del ámbito interior
A3	C6	Se trata del material que conforma, mayoritariamente, el ámbito interior del sistema, con presencia de arenas con muy escasa o nula movilidad y, aparentemente, un muy alto contenido en elementos organógenos
A4	C7	La llanura salitrosa representa un ámbito de notables dimensiones dentro del espacio, conformado por arenas que presentan un escaso grado de movilidad, al quedar fijadas por la humedad que accede por capilaridad
A5	A2	Corresponde al primer cordón transversal, considerando el tránsito de arenas
A6	A2	Se localiza en la punta de la Bajeta, un enclave singular dentro del sistema, siendo la que mayor exposición directa muestra a las variaciones de la dinámica marina
A7	D10	De acuerdo con la bibliografía, la Charca de Maspalomas constituye el punto donde finaliza el tránsito de los sedimentos

Tabla II.6. Características principales de las muestras de arena

Los resultados que se obtienen a partir del análisis de estas muestras son claves a la hora de interpretar las dinámicas anual y multianual del sistema. De esta forma, constituyen un

elemento de apoyo a la interpretación de los documentos temáticos obtenidos a partir de la aplicación de otras técnicas, especialmente a la información geomorfológica.

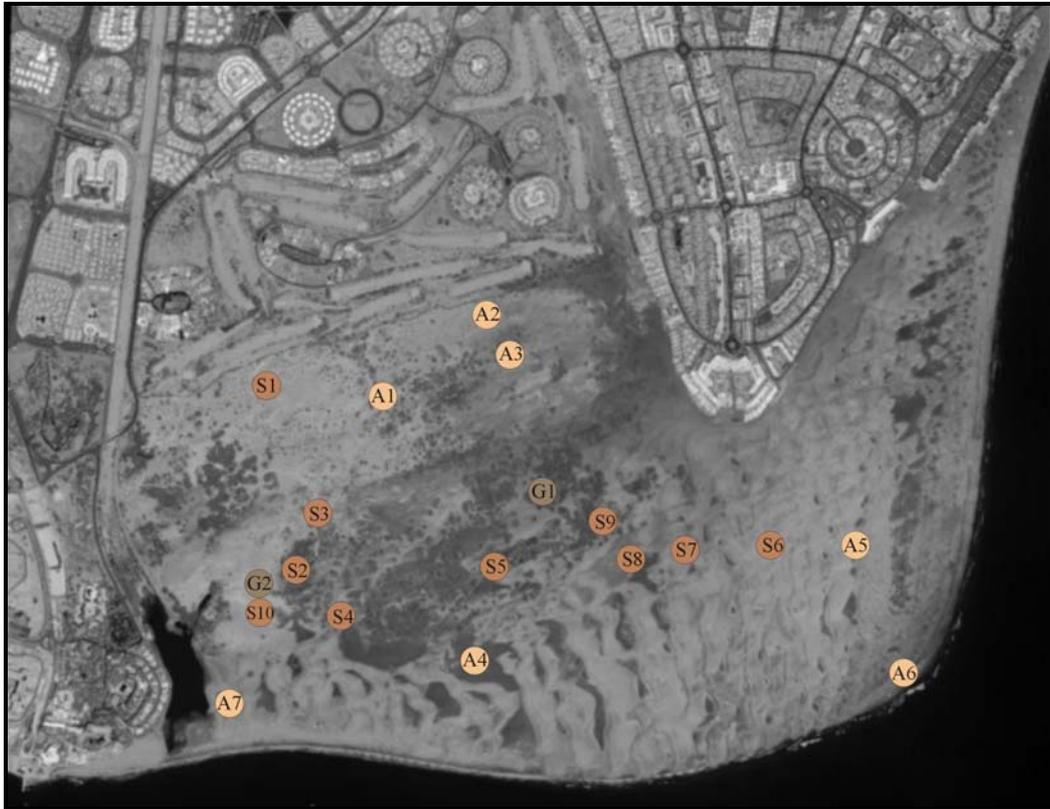


Figura II.6. Puntos de muestra del sedimento

Con respecto a los materiales geológicos subyacentes, la cartografía geológica existente (I.T.G.E., 1990), recoge los trabajos desarrollados en la identificación y clasificación de los materiales geológicos presentes en nuestra área de estudio, que han sido presentados en el capítulo anterior. En relación al campo dunar, éstos se limitan a las terrazas sedimentarias, las paleo-barras y, por último, el material dominante: las arenas que caracterizan el sistema. Sin embargo, en los últimos años ha sido posible identificar, en el interior del campo dunar, algunos materiales que no se habían considerado hasta ahora. Entendemos que su identificación ha sido posible al quedar al descubierto por la pérdida del sedimento arenoso que lo recubría. Al igual que en caso anterior, este hecho fue,

parcialmente, puesto de manifiesto durante los ejercicios de investigación desarrollados durante la elaboración del Plan Director de la Reserva (Suárez y Hernández, 1998a). El análisis de la imagen ATM comentada, permitió aislar la curva espectral que identificaba los enclaves caracterizados por la presencia de arcillas, frente al previsible sedimento arenoso. Este hecho fue interpretado como el resultado de un proceso de pérdida de arenas en el sistema interior, a consecuencia de la interposición de la urbanización del Inglés en el tránsito de los sedimentos. El trabajo de campo desarrollado con posterioridad permitió, además, la identificación de otros tres materiales geológicos no citados hasta esa fecha. Su localización cartográfica, descripción, y la caracterización petrográfica de dos de ellos, fueron las tareas desarrolladas durante esta investigación. Estos últimos corresponden a los puntos de muestreo, que se detallan en la tabla II.7 (figura II.6):

Muestra	Unidad	Observaciones
G1	C7	Corresponde con una amplio afloramiento de calcarenitas, materiales que aparecen repartidos por una amplia superficie en este sector
G2	D9	Se trata, aparentemente, de unas arenas carbonatadas, de escasa compactación, que se localizan muy cercanos a la hoya de las Aulagas. En los últimos años estos materiales han aflorado a un ritmo espectacular

Tabla II.7. Características principales de las muestras de materiales geológicos

Todas estas muestras sedimentarias fueron embutidas (endurecidas) por medio de resinas orgánicas transparentes de impregnación (EPOXI) y, posteriormente, se separaron láminas delgadas de 20 μm de grosor. Los componentes principales de estas láminas se determinaron microscópicamente en el Laboratorio de Mineralogía y Petrología del Departamento de Física de la ULPGC, llevándose también a cabo un conteo de puntos (300 por lámina) para estimar sus proporciones y abundancias relativas, y realizando al mismo tiempo microfotografías.

La caracterización textural y el análisis químico (conductividad eléctrica y pH) de los materiales eólicos superficiales, se consideró como una de las claves para conocer, con mayor profundidad, la causa de la distribución de las especies vegetales en el espacio.

Con ello, además se consigue establecer, relacionando los resultados obtenidos con los relativos a los materiales geológicos, una mejor definición de los hábitats del sistema.

Para desarrollar esta tarea se procedió a la toma de muestras superficiales, seleccionándose 10 puntos, de los que se obtuvo material hasta una profundidad máxima de 20 centímetros. Las características principales de los puntos de muestreo se presentan en la tabla II.8. y en la figura II.6.

Muestra	Unidad	Observaciones
S1	C6	Se ubica en las cercanías del campo de golf y contiene material aluvial, con contenido en arcillas, procedente de un canal del barranco, sin funcionamiento actual
S2	C7	Presenta unas altas tasas de humedad, y aparecen especies vegetales muy desarrolladas, algunas especialmente vinculadas a zonas húmedas
S3	C7	Las arenas están cubiertas por un depósito de arenas fijadas con limos de unos 2 cm de espesor y algo compactadas
S4	C7	Se trata de un depósito con materiales aluviales que, con forma de “lengua”, se interna hacia la llanura salitrosa de Maspalomas
S5	A7	Muy semejante al anterior, estos materiales invaden el interior del espacio dunar, presentando una amplia “llanura” con una gran cantidad de ventifactos en superficie
S6	C8	Se trata de un enclave representativo de la mayoría de los espacios interdunares que se localizan entre las dunas móviles, sin cobertura vegetal
S7	C8	Los espacios interdunares del sector de dunas móviles más cercanos a los materiales aluviales de las hoyas, presentan cobertura de <i>Cyperus laevigatus</i>
S8	C7	Supone el contacto entre los materiales aluviales interiores y las dunas móviles; está representado por un antiguo nivel marino que presenta restos fosilizados de fauna
S9	C7	Se trata de un enclave deprimido, cercano a los mayores depósitos de calcarenitas. Presenta una alta salinidad aparente; los ejemplares de <i>Tamarix canariensis</i> que se localizan en este enclave, han muerto, en su mayoría, en los últimos años. Tan sólo los ejemplares de <i>Suaeda vermiculata</i> consiguen desarrollarse con normalidad
S10	D9	Se trata del mismo material a que referimos en G2

Tabla II.8. Características principales de las muestras de suelo

Los análisis fueron realizados en el laboratorio de suelos del Servicio Agrícola del Cabildo Insular de Gran Canaria. En relación al análisis textural, se contemplaron los contenidos porcentuales en arcilla ($\phi < 2 \mu\text{m}$), limo ($2 < \phi < 50 \mu\text{m}$), y arenas gruesa ($50 < \phi < 500 \mu\text{m}$) y fina ($500 < \phi < 2000 \mu\text{m}$), que permiten su clasificación según el sistema U.S.D.A. (M.O.P.T., 1992).

Además, de cada una de las muestras, se elaboró una pasta saturada, sobre la que se midió el pH y la conductividad eléctrica. El pH es necesario para determinar la naturaleza salina (si $\text{pH} < 8,5$) o alcalina (si $\text{pH} > 8,5$) de las muestras (Richards, 1973). La conductividad eléctrica es igualmente importante en la determinación de la salinidad del suelo, dado que si el resultado supera los $200 - 250 \mu\text{mho.cm}^{-1}$, la muestra se considera salina (Porta *et al.*, 1993).

2.6.4. Caracterización de la vegetación

Los trabajos relativos a la caracterización de la vegetación actual se desarrollan en dos vías: por un lado, la realización de un inventario florístico y, por otro, la caracterización de las comunidades vegetales. Esta tarea, cuya base es el trabajo de campo, cuenta con apoyo de ejercicios de fotointerpretación de los documentos aéreos más recientes (vuelo de 1998) y de la imagen IKONOS. Por su parte, esta última labor de fotointerpretación, y la consideración de inventarios florísticos desarrollados por otros autores (Esteve, 1968; Sunding, 1972) son la base para la elaboración de los documentos relativos a la vegetación para principios de los años 60.

La vegetación actual ha sido estudiada a partir de la elaboración del catálogo florístico y determinación taxonómica de sus componentes. Para ello, se realizaron inventarios mediante una ficha normalizada, donde los datos relativos a la composición florística fueron complementados con los de la estructura de la vegetación (densidad, frecuencia, cobertura; índices de riqueza y diversidad) y los factores ecológicos más significativos, que se obtienen de otras observaciones y análisis (estructura del suelo, salinidad o actividades zooantrópicas). Esta información permite determinar la incidencia de los factores ecoantrópicos en la organización actual de la vegetación.

El análisis de distribución espacial de la vegetación actual se realiza mediante la elaboración de una cartografía específica, apoyada en trabajo de campo y fotointerpretación. Comprende el mapa de comunidades vegetales, así como la

representación de la localización de las especies más significativas, bien por tener un papel clave en la dinámica sedimentaria actual, por su carácter de amenazadas, su papel como bioindicadoras o por su potencial agresivo como especies invasoras. De igual forma, se procedió a su representación en forma de perfiles fitoestáticos. La combinación de esta información con otras –especialmente la relativa a los impactos ambientales– permite completar el análisis de la incidencia de los factores ambientales y humanos en la vegetación.

2.6.5. Análisis de los datos de viento

La caracterización del viento, ha sido abordada a partir del manejo de dos fuentes: por un lado, los datos registrados por la estación que el Instituto Nacional de Meteorología tiene ubicada en las cercanías del faro de Maspalomas; por otro, los registros obtenidos, mediante trabajo de campo, en la playa del Inglés. Como información de apoyo, se utiliza también la evolución de la dinámica eólica a través de la observación de las geoformas en documentos históricos (fotografías aéreas, postales, ...). Con respecto a la primera fuente, se trata de la única estación con que contamos para el estudio de los vientos en el sector. Presenta una serie muy corta, pues los registros comienzan en el año 1997. Es por ello por lo que, a pesar de que, en esta investigación se han considerado los datos horarios, que nos da una longitud de la serie de unos 36.000 registros, los resultados no pueden ser considerados como absolutos, sino únicamente como indicativos.

En cuanto al registro de datos en la playa del Inglés, en esta investigación se retoma la información obtenida para la elaboración del “Informe sobre los impactos ocasionados por los kioscos de playa del Inglés” (Hernández *et al.*, 2002), por cuanto son indicativos de la interposición de un elemento antrópico al flujo de viento y, por ello, a la entrada y al tránsito de los sedimentos en el sistema dunar. Con el fin de conocer las variaciones que inducen los kioscos de playa en la dinámica eólica, se tomaron datos de viento a lo largo de una jornada, bajo unas condiciones de régimen de alisios, en torno a uno de estos equipamientos.

Los registros se tomaron durante un período ininterrumpido de casi 22 horas, en las proximidades del kiosco 5. Las razones que nos llevaron a seleccionar este kiosco son tres: por un lado, se ubica sobre una plataforma en contacto directo con la superficie de la arena. Hacia el sur, los kioscos 6 y 7 están elevados sobre la superficie mediante ruedas y que, por ello, inciden de manera diferente en la circulación de los sedimentos transportados por el viento. Por otro lado, se encuentra justo hacia la mitad de la playa, en un área donde la dinámica eólica presenta una notable intensidad, a diferencia de lo que sucede más al norte, donde la configuración de la costa reduce notablemente la dinámica eólica. Finalmente, está menos afectado por la cercanía de cuerpos de hamacas y sombrillas, ya que éstos se encuentran en mayor número en los alrededores de los kioscos situados más al norte, por lo que, el kiosco 5, al contrario que éstos, tiene menor afluencia de visitantes.

Para la realización de esta observación se utilizaron un total de 4 sensores de velocidad de la casa Aanderaa Instruments, modelo WSS 2740, y un sensor de dirección de la misma marca, modelo WDS 3590. Cada uno de los sensores de velocidad suministraba un dato de velocidad media y otro de racha máxima durante el intervalo de muestreo, fijado en 5 minutos. Los datos eran almacenados automáticamente en un colector DSU 2990.

En cuanto a la disposición del instrumental, se colocó un sensor de velocidad en cada uno de los laterales del kiosco a un metro del suelo, estableciéndose las siguientes distancias medidas desde la base del kiosco:

- Delante (dirección este, hacia la orilla): 3,20 m.
- Detrás (dirección oeste, hacia el interior de las dunas): 5,00 m.
- Derecha e izquierda (norte y sur, respectivamente): 3,80 m.

Por su parte, el sensor de dirección se ubicó en el lateral derecho del kiosco, a una distancia suficiente como para no verse influido por la alteración de la dinámica eólica

inducida por el propio kiosco e, igualmente, a una altura de un metro sobre el suelo. Todos los sensores estuvieron funcionando ininterrumpidamente desde las 09:10 horas del día 18/09/2001 hasta las 07:35 del 19/09/2001, por lo que el período de muestreo ha correspondido a casi un día completo. Ello permite una primera aproximación a las variaciones que se producen en dicho intervalo temporal.

Por último, como se ha presentado con anterioridad, se plantea el estudio de la evolución de la dinámica eólica a través de la observación de las geoformas. Este análisis tiene como objetivo servir de apoyo al realizado con los datos de viento, y resulta especialmente relevante en el estudio de las interacciones humanas producidas en la dinámica sedimentaria. De esta manera, serán las propias formas dunares las que indiquen, para cada documento analizado, cómo se produce el tránsito de los sedimentos en el sistema. Por último, el estudio de las variaciones permitirá determinar las interacciones humanas como, por ejemplo, la producida, a partir de los años 70, por la construcción de la urbanización en la terraza sedimentaria del Inglés.

2.6.6. Altura del sedimento en la playa del Inglés

Teniendo en cuenta la variabilidad local de los vientos en este sector del sistema, se consideró necesario la elaboración de un perfil topográfico de la playa. Éste, realizado durante el informe mencionado (Hernández *et al.*, 2002), permitía analizar la retención derivada de la interposición de equipamientos turísticos (hamacas, sombrillas y kioscos) en la dinámica eólica, así como conocer las variaciones topográficas en el perfil longitudinal de la playa.

Para la realización de este ejercicio se hizo necesario contar con un equipo de toma de datos GPS (Global Positioning System), encargándose el trabajo a un estudio de Ingeniería Topográfica. El trabajo fue realizado a partir del uso de dos receptores simultáneos, con un GPS doble frecuencia, que permite obtener precisiones cercanas a los cinco milímetros de error en la toma de datos. Por su parte, el modo de uso fue el método

estático, ampliamente utilizado para la medida de largas distancia. De igual forma, los datos fueron volcados en tiempo real en un sistema informático, para impedir posibles alteraciones y garantizar así su correcto registro.

2.7. Expresión de los resultados

La información obtenida de las fuentes anteriormente comentadas tuvo dos tipos de tratamientos: gráfico y cartográfico. Por un lado, el meramente gráfico se destinó principalmente a la representación de los análisis realizados sobre el cálculo de superficies y distancias. En este sentido, las distancias calculadas desde la trasplaya hasta el primer cordón dunar, permiten detectar la evolución experimentada a lo largo de los 40 años estudiados. De la misma manera ocurre con las superficies interdunares, cuyo estudio en relación a la totalidad del espacio permite la elaboración de gráficas que presentan las áreas ocupadas por arenas húmedas. Finalmente, este mismo tratamiento gráfico han tenido los datos relativos a la velocidad de desplazamiento de las dunas, al viento y los perfiles topográficos.

El otro tratamiento comentado es el cartográfico. En este sentido, se ha contado con la información derivada de la fotointerpretación, así como la relativa al tratamiento de las imágenes digitales. El volcado de esta información se realizó considerando los documentos georreferenciados y la imagen IKONOS, también corregida geométricamente, como documentos de base. Para la cartografía de la vegetación se consideraron los dos períodos antes señalados (principios de los años 60 y actualidad); en cuanto a la representación de la geomorfología eólica, se establecieron los siguientes cinco períodos:

- Principios de los años 60: se incluyen en este documento los análisis de interpretación realizados a partir de las fotografías aéreas de finales de los años 50 y principios de los 60, así como algunos rasgos observados con detalle en el vuelo que realizara, en 1948, el Ejército del Aire.

- Finales de los años 70: cuenta con un único documento, el de 1977.
- Finales de los años 80: se incluyen los trabajos de interpretación realizados con los vuelos de 1987 y 1989.
- Mediados de los años 90: se incluyen los trabajos de interpretación realizados con los vuelos de 1994, 1995 y 1996, así como los elaborados, mediante técnicas de Teledetección, sobre la imagen ATM de 1993.
- Finales de los años 90 y año 2000: se toma como referencia la fotografía aérea de 1998, la imagen captada por el satélite IKONOS en verano del año 2000, así como el trabajo de campo realizado.

La información relativa a la geomorfología eólica contiene las formas dunares y su distribución en el espacio, a la que se ha añadido las unidades territoriales, la distribución de los espacios interdunares, las llanuras de deflación, la localización de elementos humanos, tales como kioscos y, por último, las geoformas que se derivan de la interacción de estos elementos humanos en el sistema de entrada de las arenas. El principal trabajo se ha centrado en la caracterización de las formas de modelado eólico y, para ello, se han utilizado las clasificaciones establecidas por Pye y Tsoar (1990) y por Nickling (1994), considerándose, finalmente, tres grandes grupos: los tipos básicos, en el que se incluyen las formas libres; las formas dunares condicionadas por la vegetación; y, por último, las condicionadas por la topografía.

Para la asignación de la gama de colores se han utilizado los principios cartográficos presentes en dos obras: la primera ha sido la *Leyenda para el mapa Geomorfológico de Francia (1/50000)*, editado, en su versión original por el Centre National de la Recherche Scientifique, y por el Instituto Jaume Almera de Investigaciones Geológicas, del CSIC, en

la edición española. La segunda obra de referencia ha sido la *Leyenda para mapas Geomorfológicos a escalas 1:25000 / 1:50000* (Peña, 1997).

CAPÍTULO III. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL I: GEOLOGÍA Y VEGETACIÓN

A partir de los análisis realizados, se procede a caracterizar los elementos claves que determinan el funcionamiento del sistema dunar. En este primer capítulo de resultados, se procede a caracterizar la geología y la vegetación. Finalmente, estos datos permiten abordar, a modo de hipótesis, la reconstrucción paleogeográfica del sistema y, con ello, conformar una sólida base sobre la que apoyar el estudio de la geomorfología eólica en el capítulo siguiente.

3.1. Contexto geológico y geomorfológico

Los trabajos desarrollados en este aspecto se presentan en cuatro bloques: por un lado, los antecedentes; por otro, la distribución de los materiales en el sistema; en tercer lugar, los resultados relativos a los análisis petrográficos de los depósitos de rocas; y por último, se abordan los resultados de este mismo tipo de análisis, pero realizado sobre el sedimento eólico, así como sus características físicas (texturales) y químicas (conductividad eléctrica y pH).

Los materiales geológicos en este sistema responden a una historia marcada por la interacción de tres elementos claves: por un lado, el mar, que presenta ascensos y descensos periódicos; por otro, su configuración como área de acumulación y sedimentación de los materiales procedentes de la cuenca de Fataga; y por último, las arenas, de composición mixta (mineral y organógena), dado el contexto geomorfológico en el que se han formado. Precisamente, son los cambios inducidos en la dinámica de las arenas, y la carencia de aportes sedimentarios, los que han permitido el afloramiento de materiales geológicos que, hasta ahora, conformaban el sustrato subyacente.

Considerando el mapa del marco geológico-geomorfológico, nos encontramos en un ambiente definido por cuatro grandes unidades. La primera está constituida por la franja

litoral, que marca la presencia de formas, depósitos, y procesos asociados a la dinámica marina, y que no será tratada en detalle en esta investigación. La segunda unidad está conformada por las terrazas sedimentarias, con materiales aluviales correspondientes a procesos desarrollados en épocas precedentes. El tramo final de cauce del barranco de Maspalomas conforma la tercera unidad, siendo el campo de dunas la cuarta, espacio donde se desarrolla esta investigación.

Con respecto a la franja litoral, ocupa una extensión de unos 6 km y está constituida por dos playas: al este, la del Inglés y, al sur, la de Maspalomas. El ámbito de confluencia de ambas es la punta de la Bajeta (o de Maspalomas), que constituye el vértice suboriental del área de estudio. La dinámica marina es la que, lógicamente, domina en estos ambientes, si bien los procesos de erosión y sedimentación se encuentran estrechamente asociados a los tipos de tiempo atmosférico. De esta forma, en la playa del Inglés, el oleaje se deja sentir con más intensidad entre finales del otoño y principios de la primavera, es decir, cuando dominan los vientos alisios, de procedencia NE, por lo que es entonces cuando se produce la erosión en la playa. Sin embargo, y dado que estos vientos son los más efectivos, en cuanto a su capacidad de transporte del sedimento arenoso, en este período también se produce, en mayor medida, el trasvase de arenas hacia el interior del sistema. Esto determina la aparición de diversas geoformas de sedimentación, cuya variedad depende, principalmente, de los elementos ambientales y antrópicos que se sitúan en la playa alta, así como del papel que desempeña la terraza del Inglés, cuestiones que abordaremos en extenso más adelante.

Por su parte, la playa de Maspalomas se configura como el área de salida de los sedimentos hacia el mar. Éstos, transportados por los vientos efectivos, dan lugar a la formación de grandes dunas litorales, con amplios espacios interdunares, que aumentan en número y tamaño conforme nos desplazamos hacia el este, al tiempo que se produce una disminución progresiva en la altura de las dunas. Este hecho permite que, en períodos de mareas vivas, las aguas marinas invadan el interior del campo dunar. Sin embargo,

contrariamente a lo que ocurre en la playa del Inglés, en la de Maspalomas se produce la mayor erosión mareal entre finales de la primavera y principios del otoño, coincidiendo con el dominio (en frecuencia y velocidad) de los vientos de procedencia SO. En ese período las dunas litorales aparecen acantiladas (figura III.1).



Figura III.1. Dunas litorales acantiladas en la playa de Maspalomas

Los cambios producidos por este “ciclo” sedimentario anual no sólo son apreciables en las playas, sino, sobre todo, en la punta de la Bajeta, que experimenta importantes transformaciones a lo largo del año (figuras III.2 y III.3). Así, una buena parte de los sedimentos erosionados en la playa del Inglés, son transportados por las corrientes hacia la playa de Maspalomas, por lo que la Punta experimenta un cierto crecimiento hacia el Sur. Por el contrario, cuando el oleaje procede del suroeste, retira los sedimentos a la playa de Maspalomas, y los transporta a la del Inglés, de modo que la Punta crece hacia el Este. Este crecimiento permite la configuración de un *lagoon* estacional, que “queda atrapado” entre la orilla pre-existente, y la de nueva formación, que funciona a modo de berma. Colmatada la laguna, los sedimentos quedan disponibles para iniciar un nuevo ciclo sedimentario.



Figura III.2. Variación estacional de la punta de la Bajeta (vista desde la playa de Maspalomas). Imágenes de invierno (izquierda) y verano (derecha)



Figura III.3. Variación estacional de la punta de la Bajeta (vista desde la playa del Inglés). Imágenes de verano (izquierda) e invierno (derecha)

En relación con las terrazas sedimentarias, en el entorno del área de estudio se localizan tres, correspondientes a procesos geomorfológicos producidos en el pasado, cuando el nivel del mar alcanzaba una altura superior a la actual, y el barranco transportaba mayor cantidad de materiales sedimentarios. Hoy en día, se encuentran ocupadas por las urbanizaciones turísticas y el campo de golf. Destaca, por sus dimensiones, la terraza alta (o del Inglés), conformada por una rampa que se adentra en el campo de dunas en forma de cuña, y que presenta, en este sector, unos 30 metros de altura media, y unos 22 metros en su vértice sur. Su edificación ha tenido, como veremos, serias consecuencias en la evolución geomorfológica del sistema, al inducir variaciones en la dinámica sedimentaria eólica. La terraza baja se divide en dos sectores, datados para diferentes épocas: el occidental, más reciente, se sitúa al oeste del actual cauce, y fue ocupado parcialmente,

desde mediados de los años sesenta, por la urbanización Oasis de Maspalomas; en la actualidad, sobre esta terraza se desarrolla la nueva urbanización de Costa Meloneras. El otro sector, más antiguo, corresponde al amplio cono aluvial sobre el que se ha desarrollado el campo de dunas; el área norte del abanico sedimentario ha sido ocupado por el campo de golf y la urbanización Campo Internacional. En el campo dunar, hasta hace escaso tiempo, era posible detectar sus sedimentos únicamente en algunos enclaves de la playa de Maspalomas. Sin embargo, en la actualidad, dada la escasez de aportes, y los procesos de deflación eólica, los materiales pertenecientes a esta terraza, han comenzado a aflorar.

Por lo que se refiere a la desembocadura del barranco de Maspalomas-Fataga, se caracteriza por presentar los materiales aluviales más recientes, dado que los procesos continúan hasta la actualidad. En su desembocadura se sitúa la Charca (o Charco) de Maspalomas, una laguna litoral permanente que, junto al palmeral vecino, dieron a este sitio el nombre de “Oasis de Maspalomas”. El trazado actual de este tramo del barranco es producto de modificaciones humanas, por la ampliación de las áreas ocupadas por los cultivos, hecho que tuvo lugar entre los años cincuenta y principios de los sesenta del pasado siglo. Su posterior canalización es debida al asentamiento de las urbanizaciones turísticas, a mediados de los años sesenta. En la actualidad presenta un régimen regulado, dado que, a lo largo del trazado del barranco, existen infraestructuras para la captación del agua. Así y todo, cuando se producen fuertes precipitaciones en la parte baja de la cuenca, el agua de escorrentía alcanza la Charca de Maspalomas (figura III.4) y produce inundaciones en los edificios vecinos.

La cuarta unidad es el campo de dunas, en el que nos detendremos de manera especial, al ser el objeto principal de esta investigación. Se caracteriza por presentar una amplia variedad de formas y procesos, que serán tratados en el siguiente capítulo. De igual forma ocurre con los materiales geológicos, que analizamos a continuación.



Figura III.4. Charca de Maspalomas. Canal abierto hacia el mar tras unas precipitaciones intensas

3.1.1. Antecedentes

A partir de la bibliografía disponible, y siendo consciente de la limitación que supone no contar con dataciones precisas, se resume el estado actual del conocimiento sobre los materiales geológicos del sistema dunar. Los sedimentos que tapizan esta llanura pueden dividirse, en función de su edad relativa, entre los pleistocénicos, y los holocenos y actuales. En relación a los primeros, hay que diferenciar los depósitos de arenas con “*Strombus*” y las terrazas sedimentarias. Los depósitos de arenas se asocian a la denominada “rasa” Jandiense, con una antigüedad de unos 100.000 años. En este sector se localizan en tres pequeños afloramientos, ubicados en las playas de Maspalomas, Meloneras y El Hornillo. Se trata de un nivel marino que ha sido cartografiado a lo largo de la costa oriental de la isla, y que se corresponde con la denominada “terrazza baja de Las Palmas” (ITGE, 1990). Está situado por encima del nivel actual del mar y alcanza, en marea baja, una altura máxima de 5-6 metros. Su estrato inferior está compuesto por areniscas blancas, ricas en fragmentos de algas y caparzones, muy compactadas, mientras que el superior lo está por conglomerados. Las areniscas claras están presentes en Maspalomas y contienen incrustados *Strombus bubonius* (Meco, 1982), gasterópodo

típico de la llamada “fauna senegalesa”. Si bien no son visibles comúnmente, al estar cubiertas por las arenas litorales actuales, este mismo nivel de sedimentos se localiza en el norte de la isla, a unos 4-6 metros de altura.

En cuanto a las terrazas sedimentarias, la más antigua, datada como Pleistoceno Inferior, se sitúa a 50 metros de altitud en el margen oriental de la desembocadura del barranco de Fataga. Constituye una planicie sobre la que se asienta, prácticamente, la gran mayoría de las urbanizaciones turísticas de Maspalomas. Los sedimentos que predominan son arenas y cantos de composición fonolítica, fijados en arcilla y cementados por carbonatos (Klug, 1968). La erosión litoral atacó esta terraza en su parte frontal, originando los acantilados actuales (Nadal y Guitian, 1983). El sector más característico es un declive, con una pendiente en torno al 15% desde su nacimiento en el Lomo, a una altura de 85 m.s.n.m., hasta acabar en la orilla escarpada, a 25 m, en la llamada terraza sedimentaria del Inglés, por localizarse en esta playa. Es posterior a todas las formaciones volcánicas y sedimentarias de los Ciclos I y Roque Nublo (aflorantes en el área) siendo, por otra parte, anteriores a los sedimentos holocenos, así como a los depósitos de la “terrazza baja” (ITGE, 1990).

La terraza baja está compuesta por depósitos de arenas y cantos, situados en la zona de la desembocadura del barranco de Fataga-Maspalomas, y se localiza a unos metros de altura sobre el cauce actual. El afloramiento de la margen occidental tiene una forma alargada, en sentido N-S, con una longitud de casi 2 km, una anchura media de 250 metros y una potencia que apenas supera los 3 metros visibles. Está conformado por depósitos de arenas gruesas y cantos rodados heterométricos (entre 83 y 30 cm), de naturaleza muy variada (sienitas, traquitas, fonolitas, basaltos, basanitas y tefritas), si bien los más abundantes son los términos fonolíticos (ITGE, 1990). En el margen oriental del barranco, el afloramiento, con idénticos materiales, presenta una forma de planta pseudotriangular, con una superficie de casi 2 km². Gran parte de esta terraza está ocupada por el campo de golf de Maspalomas, y por numerosas urbanizaciones turísticas.

Estos afloramientos representan dos niveles antiguos del curso de dicho barranco, constituyendo terrazas aluviales de 4 a 6 m, la relativa al Pleistoceno Inferior, y de 2 m, la correspondiente al Holoceno (Gutián *et al.*, 1983). Estos niveles deben su génesis a sucesivas rupturas del equilibrio del barranco que, como consecuencia de cambios eustáticos del nivel del mar, han permitido su encajamiento (Nadal y Guitian, 1983): al descender el nivel marino, el barranco tiende a excavar en su cauce hasta recuperar el perfil de equilibrio. El nivel más antiguo se habría formado en un régimen hidrográfico espasmódico, con un caudal irregular, mientras que el más reciente se atribuye a un curso fluvial con un caudal más constante y uniforme (Gutián *et al.*, 1983).

Los sedimentos holocenos y actuales están constituidos por las dunas y “rasa” Erbarese (2.000-4.000 años) (Nadal y Guitian, 1983). Las dunas son producto de una acumulación de arenas que debió surgir a partir de una regresión a finales de la glaciación Würm, para la cual se calculó un descenso del nivel del mar de 90 a 100 metros. El antiguo fondo marino quedó expuesto al viento, que movilizó la arena, formando las dunas. Con posterioridad, una transgresión puso fin a este proceso, como lo demuestran las barras de guijarros o cantos, intercaladas entre las dunas, que ponen de manifiesto las antiguas líneas de costa. Posteriormente, el mar desciende paulatinamente, hasta alcanzar su nivel actual, por lo que el viento vuelve a reemprender su actividad, formando las dunas móviles que hoy ocupan el territorio costero. Dada la importancia que este campo dunar tiene en nuestra investigación, hemos creído conveniente ampliar esta información en un apartado posterior.

Los depósitos marinos pertenecientes al Holoceno Superior (“Erbarese”) aparecen formando un cordón litoral (Nadal y Guitian, 1983), que indica la posición de la costa en ese momento, y que actualmente es rebasado y recubierto por las dunas. Está formado por nueve barras de guijarros, situadas a una altura de entre 3 y 5 m.s.n.m.. En anchura, estas barras puede rebasar los 13 metros, y las separaciones entre éstas pueden superar los 32 metros, al menos en afloramientos puntuales. Analizando las disposiciones espaciales de

las barras, es posible caracterizar la evolución de la orilla, desde una posición inicial, coincidente con la posición actual del escarpe de la terraza del Inglés, delimitante del campo de dunas. En esta evolución se establecen dos pautas en la regresión marina, que se suceden en el tiempo, y que están condicionadas por la existencia de una menor batimetría al NE del escarpe (Martínez y Casas, 1992).

En relación a los cantos que componen estas paleo-barras, dominan los de naturaleza sálica, sobre todo los fonolíticos. Teniendo en cuenta las formas de los cantos y bloques, que presentan una morfoscopia muy redondeada y sub-esférica (lo que implica una acción directa de la erosión marina), se deduce que el ambiente sedimentario de la llanura fue mixto: continental-marino (Martínez y Casas, 1992).

Por lo que respecta al campo de dunas, éste tiene un carácter relictual. Las dunas “reptan” y casi recubren la parte inferior del nivel de terraza aluvial superior, extendiéndose desde la desembocadura del barranco de Buenavista hasta la del de Maspalomas, delimitado al norte por las terrazas aluviales. Los sedimentos eólicos ocupan una cuarta parte del cono aluvial del barranco de Maspalomas, con una superficie de 4 km², una longitud máxima de 3 km, en la dirección NE-SO, y una anchura de unos 2 km de norte a sur. Estos arenales se pueden relacionar con otros existentes en la isla, como los ya desaparecidos de Las Palmas de Gran Canaria, o igualmente los de Bañaderos, Tufía, Gando, Arinaga y Punta de las Arenas (ITGE, 1990).

El origen de las arenas es mixto, pues proceden tanto de los aportes de los barrancos, como del depósito originado durante el período en que el abanico aluvial estuvo sumergido. Así, se puede afirmar que, de acuerdo con su composición, son arenas procedentes de basaltos alcalinos, fonolitas y carbonatos organógenos (Martínez *et al.*, 1986), predominando la fracción fonolítica-carbonatada. Junto a su naturaleza fonolítica, no cabe excluir, además, componentes traquíticos (Martínez, 1986); en cuanto a la

composición de los carbonatos, éstos han sido calculados alrededor de un 50% en peso (Martínez *et al.*, 1989; Alcántara, 1998).

3.1.2. Características de las rocas sedimentarias

Se aborda en este apartado la caracterización de las rocas sedimentarias, para lo que se ha considerado su distribución espacial y los análisis petrográficos realizados sobre algunas muestras. La interpretación sobre su génesis será tratada en el apartado 3.3.

3.1.2.1. Distribución espacial de los materiales geológicos

La primera consideración a realizar, por lo que respecta a la distribución espacial del sustrato sobre el que se desarrolla el campo de dunas, es que la mayor proporción de estos materiales se encuentran aflorando en el área central del sistema, es decir, en el sector de las Hoyas (C7) (figuras II.2 y II.3). Este hecho se explica por la intensificación de un proceso de deflación eólica en esta unidad, que lo ha dejado parcialmente al descubierto, cuestión que será abordada más adelante. Pero también es necesario atender a otras consideraciones ambientales, como el hecho de que este sector constituyera, en otros momentos geológicos, el área final de depósito y sedimentación de los materiales aluviales de la cuenca de Fataga, representando el límite entre los ambientes terrestre y marino. En este ambiente se han identificado cuatro depósitos de rocas, y materiales aluviales. Con respecto a los primeros, hemos distinguido entre depósitos de calcarenitas, areniscas y arenas carbonatadas (eolianitas), apareciendo, estas últimas, en dos sectores diferentes del sistema. Las calcarenitas, y el depósito de eolianitas más cercano a la línea de costa, han sido muestreados para su análisis petrográfico, cuyos resultados serán expuestos en el siguiente apartado.

Por lo que respecta a los depósitos aluviales, que pertenecen a la terraza baja holocena, han sido caracterizados de acuerdo a su reconocimiento en el campo, atendiendo a los elementos geológicos que presentan, así como a las formas que adquieren los depósitos.

Los depósitos de calcarenitas (mapa relativo al marco geológico-geomorfológico) ocupan un amplio sector, que se extiende desde el pie del talud occidental del vértice sur de la terraza del Inglés, hasta la Hoya de las Aulagas. Se presentan con una forma alargada que, siguiendo la dirección NE-SO, se adentra hacia el interior del sistema. El enclave más visible ha quedado expuesto como consecuencia del crecimiento experimentado por una palmera con tres pies, que ha levantado el material. Aparte de estos ejemplares, *Suaeda vermiculata* parece mantener una asociación clara con estos depósitos, por lo que facilita su localización cuando aparecen semi cubiertos de arenas. Esta asociación pudiera estar definida por el alto contenido en sales que muestra esta roca. Los procesos de disolución que presenta estarían posibilitando que estas sales pasaran a formar parte de los suelos.

Por lo que respecta a las eolianitas, éstas aparecen en dos sectores: el interior, más amplio, presenta, aparentemente, relación con algunas especies, como *Lycium intricatum*. Dada la estabilidad de las arenas en este sector interior (C6), este afloramiento no parece haber aumentado en extensión recientemente. Sin embargo, esto sí ocurre con el localizado en las cercanías de la Hoya de las Aulagas, en el sector oriental del barranco de Maspalomas (D9), donde los procesos de deflación están dejando al descubierto una amplia superficie caracterizada por la presencia de varios afloramientos, que se elevan hasta una altura aproximada de 25 – 30 cm sobre la base.

Los materiales aluviales de la terraza baja holocena afloran en tres sectores: siguiendo de este a oeste, los dos primeros afloramientos se presentan contiguos espacialmente, teniendo como origen el pie del talud occidental del vértice sur de la terraza del Inglés. Por el contrario, el tercero aparece en el sector occidental, y sigue una dirección NNO-SSE. En relación a los dos primeros indicados, éstos se disponen paralelos a las calcarenitas, aunque exteriores a ellas. Ambos se caracterizan por presentar, en superficie, cantos heterométricos, con una gran cantidad de grava; dominan los callaos, que muestran claros rasgos de abrasión eólica, al estar facetados, y con oquedades y acanaladuras, por lo que se pueden definir como ventifactos. Algunos de ellos muestran, además, roturas,

con laminación paralela o sub-paralela, originadas por procesos de termoclastia y/o haloclastia. Estos indicios son claves para demostrar que los materiales han soportado una larga exposición a los vientos antes de ser cubiertos por las arenas. A escasa profundidad, estos depósitos muestran arcillas entremezcladas con arenas.

De los afloramientos citados, el más cercano al vértice sur de la terraza del Inglés contacta con el cordón litoral interior Erbarese, el cual indica la altura que alcanzó en nivel marino hace entre 2.000 y 4.000 años. En ese contacto aparecen restos de fauna marina (entre ellos, hemos determinado la presencia de *Thais haemastoma*), cuestión que permite diferenciar este afloramiento del localizado a occidente, hacia la Hoya de las Fuentes. El sector más amplio de este depósito aluvial ha sido retrabajado por la acción del mar, que ha labrado sobre ellos una plataforma de abrasión marina, con una anchura de unos 50 m (N-S), y es detectable en todos los documentos aéreos consultados; presenta cierta inclinación hacia el norte, es decir, hacia el interior del sistema, donde se aprecia un escarpe de aproximadamente 1,5 m, tras el que aparecen las calcarenitas.

El segundo afloramiento presenta formas más complejas, conforme nos dirigimos hacia el oeste. Los primeros sectores se configuran como amplias llanuras que, al igual que ocurre con los anteriores, presenta una cierta inclinación hacia el norte. En algunas de esas llanuras, los materiales contactan y se confunden con los depósitos de calcarenitas. Hacia la llanura salitrosa, aparecen canales anastomosados, no funcionales en la actualidad, de distintas dimensiones. La continuidad de este tramo, hacia el sur, permite que alcancen la playa de Maspalomas a la altura del puesto de la Cruz Roja, donde quedan expuestos.

El último de estos afloramientos, que configuran la terraza baja, indica la existencia de un antiguo cauce, hoy cubierto por las arenas. Se localiza en el sector noroccidental del sistema y puede ser observado en los espacios interdunares, a través de los cuáles se identifica una alineación NNO-SSE que finaliza en la llanura salitrosa. Sus materiales son parecidos a los anteriores, aunque muestran, sin embargo, menor heterometría, donde

abundan las fracciones más finas. Los cantos, además, no presentan signos visibles de erosión eólica, cuestión que explica una menor antigüedad con respecto a los anteriores. Su distribución espacial puede ser seguida por bioindicadores, dado que a lo largo de su trazado aparecen ejemplares de *Plocama pendula*.

En resumen, los procesos de deflación que tienen lugar en el campo dunar de Maspalomas están dejando al descubierto el basamento sobre el que, hasta hace escasas fechas, se producía el avance de las dunas. En consecuencia, es posible distinguir distintos depósitos de rocas, algunas de las cuáles han sido analizadas en profundidad, y cuyos resultados se exponen a continuación. Del mismo modo, aparecen los materiales sedimentarios, previsiblemente holocenos, que constituyen el cono aluvial del barranco de Maspalomas. Atendiendo a los elementos que los caracterizan en superficie, así como a las formas que adquieren, estos depósitos parecen corresponder a épocas diferentes, cuestión que se aborda en el capítulo 3.3.

3.1.2.2. Resultados de los análisis petrográficos

Tal y como se ha señalado, dos de los depósitos de rocas sedimentarias localizados en el campo dunar fueron muestreados con el fin de proceder a su análisis petrográfico. Así, se estudiaron dos muestras correspondientes al depósito de calcarenitas, G1 (a las que denominaremos G1a y G1b), y una del depósito de arenas carbonatadas que aparece en la Hoya de las Aulagas (G2). Las primeras, a simple vista, son de color crema, masivas y con texturas de disolución superficiales, cóncavas y convexas, que recuerdan a las que presentan los micro-lapiaces en los terrenos calizos. Por su parte, la muestra G2 es de color beige, con zonas claras-oscuras, y es muy desmenuzable a la menor presión con los dedos. Las rocas a las que corresponden estas muestras no presentan estructuras sedimentarias visibles en superficie, a escala de afloramiento, pues, aunque su extensión superficial es considerable, no existen cortes tangenciales para observar estructuras en el interior del estrato.

443.000

Legenda

ELEMENTOS LINEALES
AFILORAMIENTOS LINEALES DE LA PLATAFORMA DE ABRASIÓN MARINA (ERBARENSE)

- Trazado con depósitos marinos
- Cordones de cantos observados:
 - en los años 60
 - en los años 70-80
 - en los años 90

OTROS ELEMENTOS LINEALES

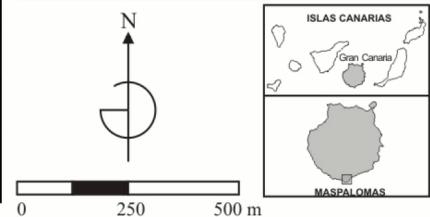
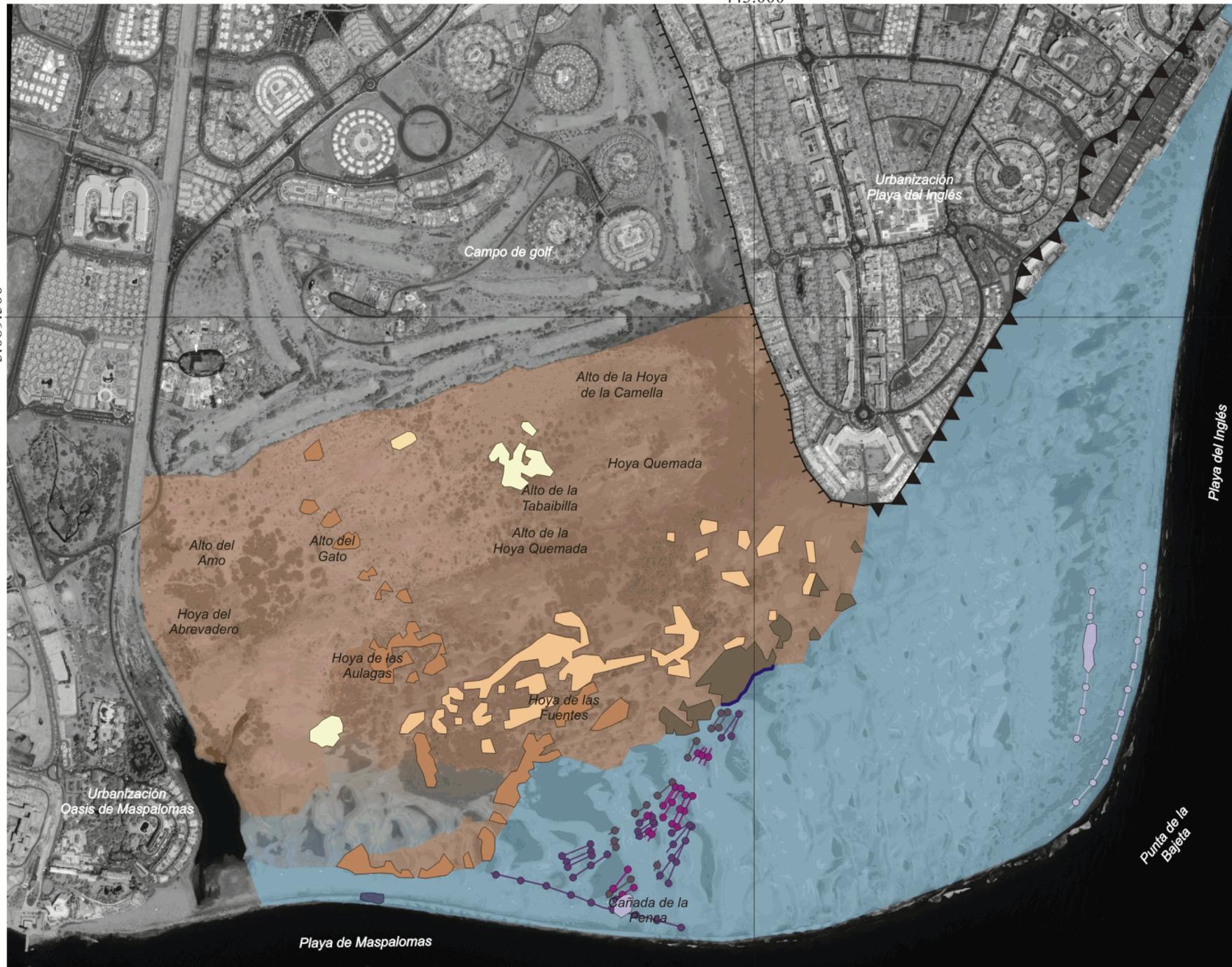
- Límite de la terraza alta
- Frente de la terraza alta
- Cordones de cantos litorales

AFILORAMIENTOS

- Terraza baja. Depósitos aluviales y marinos
- Terraza baja. Depósitos aluviales
- Calcarenitas
- Areniscas
- Eolianitas
- Acumulaciones de cantos
- Conglomerados marinos y "rasa" Jandiense

DOMINIOS GEOMORFOLÓGICOS

- Dominio continental
- Dominio marino
- Dominio mixto



3.069.500

En relación con los resultados obtenidos del análisis petrográfico, desde el punto de vista textural, las rocas sedimentarias estudiadas presentan al microscopio diferentes componentes deposicionales, como aloquímicos (partículas carbonatadas procedentes de la cuenca sedimentaria), terrígenos (granos procedentes de fuera de la propia cuenca) y ortoquímicos (precipitados de carbonatos) (tabla III.1). Los aloquímicos encontrados son esencialmente restos fósiles (bioclastos), y los granos terrígenos son minerales y fragmentos de rocas. Todas las partículas muestran tamaños de grano de arena muy fina a gruesa (comprendidos entre 0,05 y 0,7 mm), aunque la media oscila entre 0,2 y 0,4 mm, es decir son de arena media (figuras III.5 y III.9). Por lo que se refiere a la característica textural de redondez, estos componentes detríticos varían desde “muy redondeados” a “subangulosos” (figuras III.8, III.10 y III.11) y están moderadamente clasificados, pues el *sorting* es de 0,5. Por último, el empaquetamiento de los granos en estas rocas es flotante o puntual, rara vez tangencial (figuras III.6, III.8, III.10 y III.11). A continuación se caracterizan en detalle los componentes deposicionales presentes en las muestras.

Componentes / Muestras	G1a	G1b	G2
Mallas de algas rojas	21,0	12,6	19,6
Moluscos	1,8	0,6	11,2
Foraminíferos	0,4	0,5	1,3
Briozoos	0,0	0,0	6,9
Cemento de micrita	5,8	20,1	0,0
Cemento de esparita	32,8	31,3	17,9
Fragmentos de rocas máficas	3,6	4,6	2,9
Fragmentos de rocas sálicas	21,8	16,6	24,6
Clinopiroxenos y olivinos	4,0	3,0	3,8
Feldespatos y feldespatoides	6,4	6,1	5,4
Otros componentes deposicionales	2,4	4,5	7,7

Tabla III.1. Porcentajes de abundancia relativa de los componentes deposicionales en % obtenidos del conteo de 300 puntos en las láminas delgadas

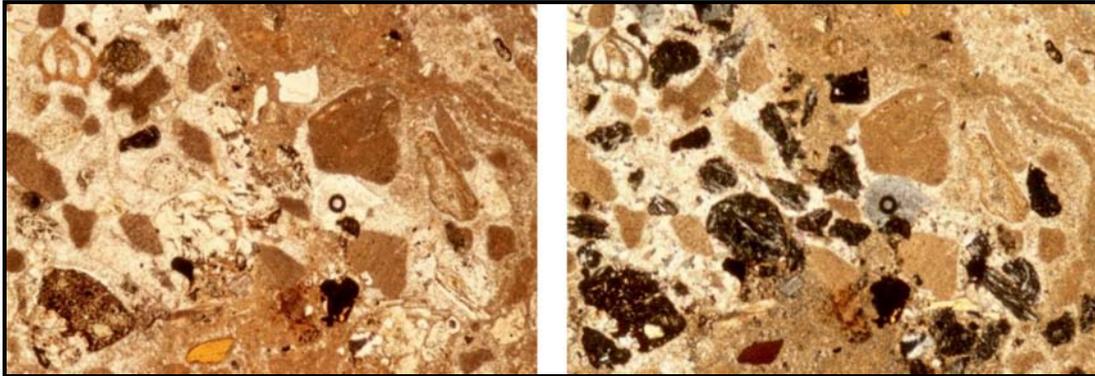


Figura III.5. Muestra G1a con cemento micrítico (parte superior derecha e inferior) y esparítico (zona izquierda), y componentes deposicionales de grano medio y grueso (40X aumentos, con nicoles paralelos (NP) (foto izquierda) y con nicoles cruzados (NC) (foto derecha))

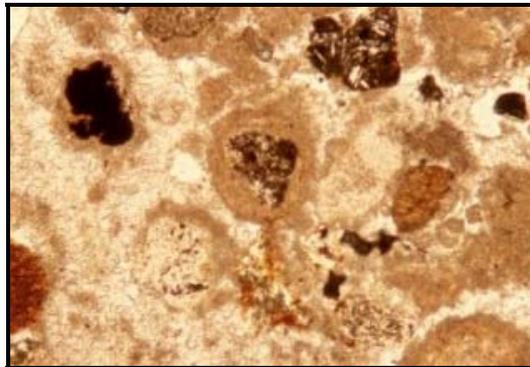


Figura III.6. Muestra G1a. Ooides superficiales. Relleno intergranular posterior de cemento esparítico y empaquetamiento flotante de los granos (100X, NP)

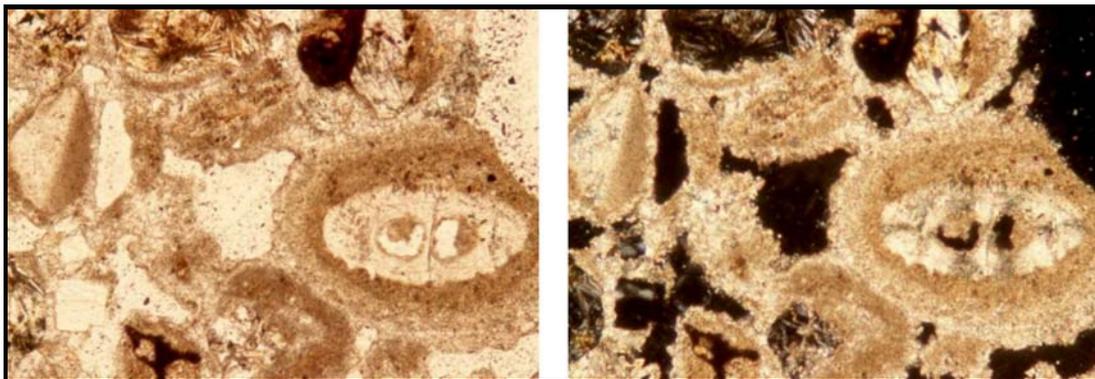


Figura III.7. Muestra G1a. Foraminífero bentónico y restos de fragmentos de roca con bordes de micrita. La esparita se distribuye como cemento intergranular y como relleno móldico (100X, NP (f. izqda), NC (f. dcha))

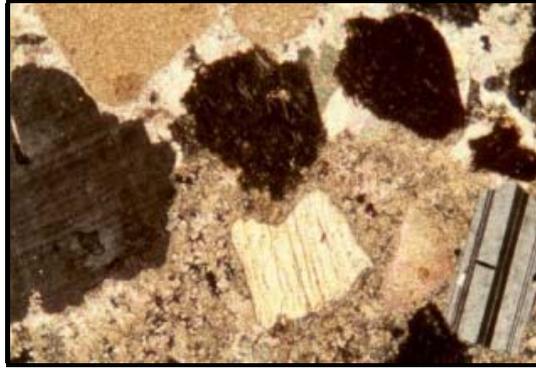


Figura III.8. Muestra G1a. Minerales con tamaños entre 0,1 y 0,4 mm: plagioclasa (parte inferior derecha), mostrando macla polisintética, feldespato potásico (izquierda) con la macla de la microclina, y clinopiroxeno con exfoliación (centro). Cemento micrítico (parte inferior) y esparítico equigranular (superior). Empaquetamiento de los granos flotante y puntual. (100X, NC)

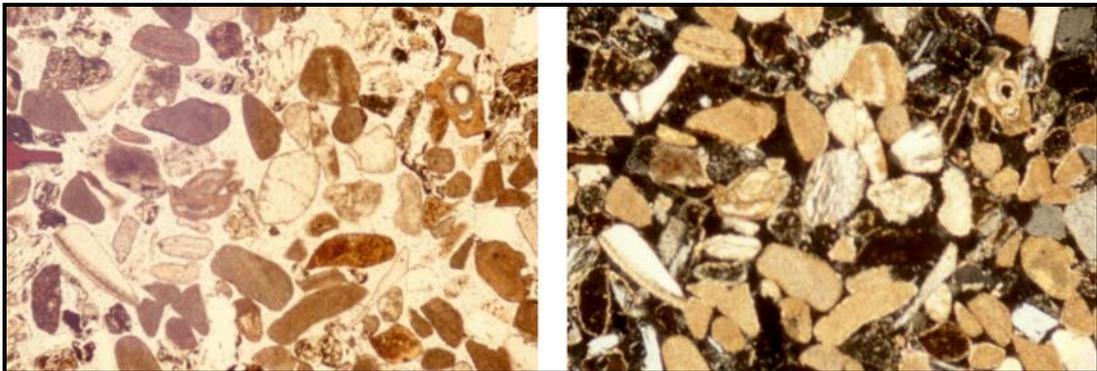


Figura III.9. Muestra G2. Partículas de grano medio y de diversa naturaleza: mallas de algas, conchas de moluscos, foraminíferos, terrígenos, minerales (feldespatos, clinopiroxenos (augita) y anfíboles (horblenda)) y algún intraclasto. Empaquetamiento flotante y puntual, porosidad elevada de la roca, y buena selección y redondeado de los granos (40X, NP (f. izqda), NC (f. dcha))

Por lo que se refiere a los aloquímicos (bioclastos o granos organógenos) encontrados, éstos presentan porcentajes de abundancia relativa menores al 30% del total de la roca, y se han identificado restos de mallas de algas rojas coralíneas (figuras III.5, III.8, III.9, III.10 y III.11), fragmentos de moluscos (bivalvos y gasterópodos, entre otros –figuras III.10 y III.11-), equinodermos (espículas y placas) y briozoos, y foraminíferos bentónicos enteros o fracturados (figuras III.5, III.7 y III.9). Los bioclastos presentes en las muestras son todos marinos, y es de suponer que estarían asociados a céspedes o sustratos duros litorales, de aguas templadas con alto contenido en carbonatos. En cuanto a las granos de mallas de algas coralinas, tanto incrustantes como articuladas, muestran

un aspecto reticulado (estructura interna en panal, con celdillas más o menos rectangulares), y se presentan como fragmentos de peritalos e hipotalos de color crema claro y oscuro, constituidos por cemento carbonatado micrítico (cristales menores de 5 μm). Estos restos pertenecen a la División *Rhodophyta*, al orden de las *Corallinales* y a la familia *Coralinacea*. Los moluscos y foraminíferos se presentan como conchas rojizas ferruginosas o incoloras, los primeros con formas cóncavas, y los segundos presentando una gran variedad de morfologías y estructuras. Los fragmentos de moluscos son tan pequeños que es imposible determinar a qué familia pertenecen; no obstante se han distinguido restos de bivalvos, gasterópodos y ostreidos. Los foraminíferos son bentónicos, generalmente están bien conservados, tienen tamaño de grano de arena media, y pertenecen a las familias *Elphidiidae*, *Rotalidae* y *Miliolidae*, distinguiéndose los géneros *Elphidium sp.*, *Cibicides sp.*, *Heterolepa sp.*, *Quinqueloculina sp.* y *Triloculina sp.*. Los restos de briozoos (colonias de diversos tipos) y equinodermos (placas y espículas de equínidos) son componentes raros, aparecen incoloros y presentan diversas estructuras externas e internas que los identifican. Por último, son muy raros los componentes aloquímicos de intraclastos, y no se han identificado ni oolitos ni pelets.

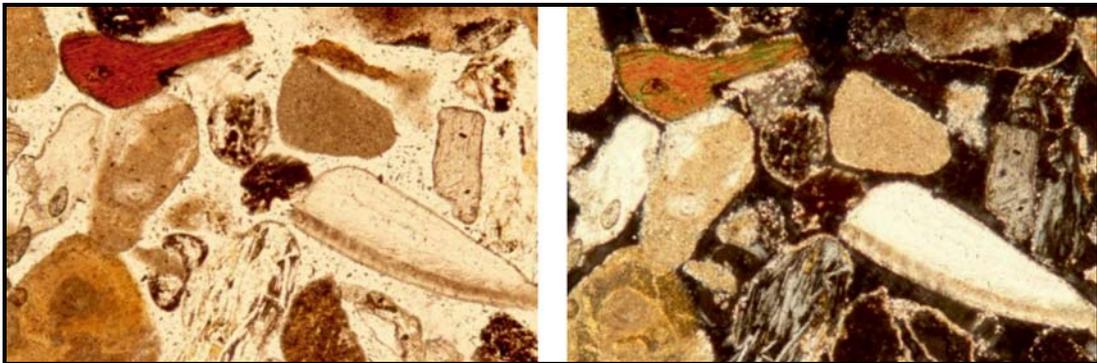


Figura III.10. Detalle de la parte derecha de la figura anterior. Fragmentos de conchas de moluscos incoloras y con borde ferruginoso; mallas de algas de color crema oscuro; rocas sálicas conteniendo minerales diversos e intraclastos de colores marrones oscuros; horblenda (rojo) y clinopiroxenos (pardos). Con NC se observa la película de microesparita que rodea y une a los granos. Porosidad elevada, empaquetamiento puntual, flotante y rara vez tangencial (100X, NP (f. izqda), NC (f. dcha))

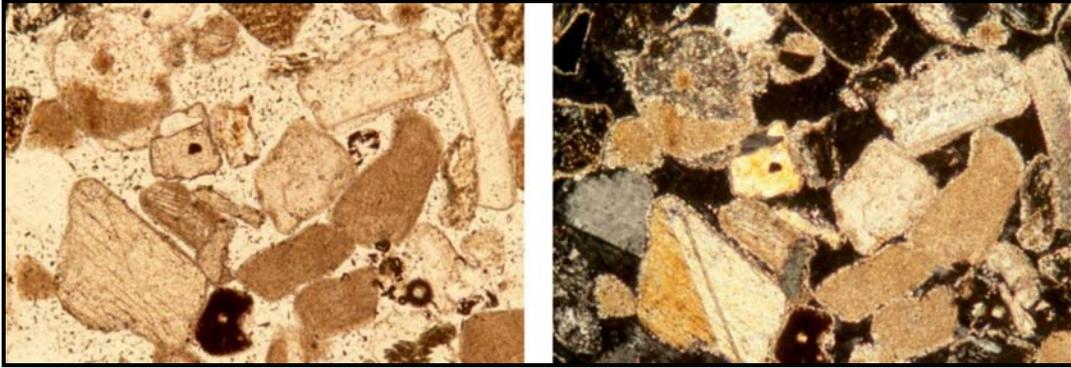


Figura III.11. Muestra G2. Fragmento de un cristal de 0,3 mm de clinopiroxeno (augita) (parte inferior izquierda) y, con NP, mostrando color marrón claro, relieve alto y exfoliación en una dirección; con NC presenta una macla sencilla y colores de interferencia de 1º orden. Grano de feldespato incoloro y de poco relieve (parte superior derecha), y con una macla de Carlsbad. Granos de mallas de algas, cochas de moluscos y fragmentos de roca, todos con la película de cemento microesparítico (100X, NP (f. izqda), NC (f. deha))

Con respecto a los terrígenos, éstos están caracterizados por la presencia de distintos minerales y fragmentos de roca, que muestran porcentajes de abundancia relativa importantes, siempre por debajo del 40%. Los minerales que se han distinguido son melanocratos (oscuros), como clinopiroxenos (augita y egirina), olivino, horblenda, biotita, y óxidos e hidróxidos de Fe-Ti, y leucocratos (claros), como feldespatos (paglioclasas y feldespatos alcalinos) y feldespatoides (figuras III.8, III.10 y III.11). Los minerales se identifican fácilmente a partir de las características ópticas que presentan con nícoles paralelos (luz polarizada), y nícoles cruzados (luz polarizada y analizada). Así, por ejemplo, los granos de clinopiroxenos, como las augitas, con nícoles paralelos son incoloros o pardos, suelen presentar líneas de exfoliación y relieve alto, mientras que con nícoles cruzados muestran altos colores de birrefringencia y, a veces, maclas (figura III.11). Los anfíboles, como la horblenda, con nícoles paralelos, son de color marrón, tienen fuerte pleocroismo, presentan exfoliaciones marcadas y relieve alto (figura III.10). Los óxidos de hierro siempre son opacos y de color negro con nícoles paralelos o cruzados (figuras III.6 y III.11). Las granos de feldespatos son incoloros y con bajo relieve en nícoles paralelos, mientras que con nícoles cruzados tienen colores bajos de birrefringencia (grises, blancos o amarillos), y las plagioclasas (feldespatos Na-Ca) presentan maclas de Carlsbad y polisintética, mientras que los feldespatos alcalinos

(feldespatos Na-K) presentan la macla de la microclina (figuras III.8 y III.11). Por lo que se refiere a los fragmentos de roca, éstos pueden ser de composición máfica (por ejemplo, basaltos conteniendo olivinos, clinopiroxenos, feldespatos, opacos y vidrio), o sálica (traquibasaltos, traquitas y fonolitas, entre otros, conteniendo feldespatos, feldespatoides, anfíboles, clinopiroxenos y opacos, más vidrio) (figuras de III.5 a III.11). A veces se observan granos de vidrio volcánico, que aparecen de color negro o amarillento con nícoles paralelos, e isótropos (negros) con nícoles cruzados (figura III.6).

Los ortoquímicos son componentes importantes en las muestras G1a y G1b, con porcentajes de abundancia por debajo del 51%. Estos ortoquímicos están representados, generalmente, por un cemento carbonatado de “esparita” (posiblemente cristales de aragonito), con tamaño microcristalino (entre 4 y 64 μm), generalmente equigranular y con relaciones longitud / anchura de los cristales bajas. Desde el punto de vista óptico, la esparita aparece con tonos incoloros, relieve moderado y ligero pleocroismo con nícoles paralelos, mientras que tiene colores de birrefringencia muy suaves y brillantes de tercer orden con nícoles cruzados (figuras de III.5 a III.8). Este cemento se forma por precipitación química directa del agua de mar, al alcanzar las condiciones físico-químicas de saturación, y siempre se origina posteriormente al depósito de los aloquímicos. Por su carácter microcristalino, no se puede confirmar al microscopio óptico si el cemento de esparita está constituido de cristales de calcita (carbonato cálcico hexagonal) o aragonito (carbonato cálcico rómbico). Para identificarlos sería necesario hacer estudios de difracción de rayos X. De igual forma, para saber la composición química del carbonato (Ca, Mg, Fe, Sr, Na, etc.), sería necesario hacer análisis de microsonda electrónica o teñir y atacar los carbonatos con productos químicos como “rojo de alizarina S”, o “ferrocianuro potásico”.

Al microscopio, se ha podido distinguir “micrita”, que es un cemento carbonatado con carácter criptocristalino y tamaños inferiores a 4 μm (lodo o barro carbonatado), que se forma por precipitación directa del agua de mar o por desintegración de los componentes

deposicionales carbonatados. Este cemento aparece de color crema oscuro con nícoles paralelos, y se dispone en áreas irregulares de las muestras, o en bandas alternantes de esparita-micrita, con tonos incoloros y crema oscuros, respectivamente (figuras III.5 y III.6). En la muestra G1a aparece también la micrita como un borde de varias micras alrededor de algunos granos con aspecto de ooide (figura III.6), los denominados en la bibliografía “ooides superficiales”. Los cementos carbonatados esparíticos y micríticos son los que unen los distintos granos de las rocas estudiadas, y rellenan frecuentemente los huecos entre los componentes o las cavidades intragranos (figuras de III.5 a III.11). Debido a la presencia de estos cementos, la porosidad de las muestras G1a y G1b es baja, primaria y de tipo intergranular e intragranular (figura III.7). No obstante, se han observado algunas fisuras de origen secundario, originadas por procesos de disolución de carbonatos.

La muestra G2 tiene menos cemento (porcentajes inferiores al 18%) y se presenta como bandas microesparíticas alrededor de los distintos granos (con potencias homogéneas e inferiores a 10 μm), uniendo la distintas partículas (cemento isopaco) (figura III.9). La porosidad de esta roca es elevada e intergranular (figuras III.10 y III.11).

Por último, como el empaquetamiento de los granos en las tres rocas estudiadas es flotante y/o puntual (granosoportado), sugiere que la cementación se produjo antes de que se pudiera alcanzar una compactación significativa de las rocas.

Teniendo en cuenta las características texturales citadas en los párrafos anteriores, las rocas analizadas son carbonatadas pues, en primer lugar, están compuestas por material formado mayoritariamente en el mismo lugar donde se produjo la acumulación final del sedimento, o próximo a él y, en segundo lugar, porque tienen componentes carbonatados en una proporción superior al 50%.

Estas rocas pueden ser clasificadas de distinta manera, dado que los autores utilizan diversa terminología, según criterios de clasificación diferentes. Así, si tenemos en cuenta

las clasificaciones de Folk (1959 y 1962) y el criterio del tamaño de grano, las muestras estudiadas son “calciarenitas o calcarenitas medias” (arenitas de grano medio constituidas esencialmente por componentes carbonatados depositados mecánicamente). Si consideramos otros elementos texturales, serían “calizas aloquímicas esparíticas” y “bioesparitas”, puesto que predominan el cemento esparítico y los aloquímicos organógenos. Si tenemos en cuenta la presencia de micrita y el grado de redondez y selección, las muestras G1a y G1b pertenecerían a “bioesparitas escasamente lavadas”, mientras que la G2 sería una “bioesparita bien seleccionada y redondeada”. De igual forma, si usamos la clasificación de Dunham (1962), las muestras G1a y G1b serían “*packstones*”, pues tienen poca micrita y son granosoportadas, mientras que la G2 sería una “*grainstone*” pues no tiene micrita y es granosoportada. Finalmente, es importante destacar que rocas sedimentarias carbonatadas similares, por presentar parecidos componentes deposicionales, se han descrito en Gran Canaria en las calcarenitas que constituyen la barra de Las Canteras (Pérez y Mangas, 1994).

Si tenemos en consideración la posición estratigráfica de los afloramientos estudiados, podemos indicar que las rocas carbonatadas se depositaron sobre arenitas y conglomerados del abanico aluvial de los barrancos que confluyen en la zona de Maspalomas, y temporalmente fueron cubiertos por los sedimentos eólicos actuales del campo dunar.

Si nos fijamos en las características genéticas de los componentes deposicionales aloquímicos, las rocas contienen abundantes componentes bioclásticos marinos (mallas de algas rojas, foraminíferos, moluscos, briozoos, ...), que se relacionarían con sustratos algales conteniendo fauna bentónica; ésta es característica de ambientes litorales someros (playa sumergida *-foreshore-*) o de plataforma poco profunda. Con relación a los componentes terrígenos, es lógico suponer que proceden de áreas fuentes cercanas y, por consiguiente, habrían sido aportados tanto por la acción sedimentaria de los barrancos que desembocan en Maspalomas o en las proximidades, como por la dinámica costera (corrientes, mareas y oleaje), a lo largo del litoral norte y sur de la zona de estudio. Así,

los fragmentos de rocas sálicas, los minerales leucocratos y los vidrios sálicos descritos proceden, esencialmente, de la desintegración de las fonolitas y traquitas del I ciclo magmático de Gran Canaria, y de las brechas volcánicas Roque Nublo (facies deslizadas). Los fragmentos básicos, minerales ferromagnesianos y vidrio básico, provienen de las coladas y piroclastos basálticos y basaníticos del II ciclo magmático o Roque Nublo, y de sus facies deslizadas. Igualmente, los terrígenos encontrados en las muestras pueden proceder, también, de la erosión de las rocas sedimentarias de la Formación Detrítica de Las Palmas (Miembros Inferior y Superior), de las terrazas sedimentarias cuaternarias, y de los coluviones presentes en los alrededores. Si consideramos los ortoquímicos (cementos micríticos y esparíticos), éstos no se han caracterizado desde el punto de vista químico ni mineralógico, pero por sus características texturales (bandas primarias de micrita-esparita, unión de los granos y relleno de la porosidad original), junto con las características de los otros componentes deposicionales y la posición estratigráfica de los afloramientos, podemos suponer que son de cementación carbonatada marina. Para confirmar esta hipótesis habría que hacer estudios geoquímicos detallados de los cementos (microsonda electrónica y/o tinción y ataque químico de carbonatos).

Las tres rocas sedimentarias carbonatadas estudiadas no son iguales. Así, las G1a y G1b son packstones, que presentan cemento micrítico, ya en bandas deposicionales, ya en parches, y cemento esparítico con porcentajes alrededor del 35%; mientras que la G2 es una grainstone, sin micrita y conteniendo cemento esparítico con una abundancia del 18%. Por consiguiente, es lógico suponer que estos materiales tienen que haberse formado en distintos ambientes deposicionales, y con diferentes condiciones fisico-químicas. Teniendo presentes estas cuestiones, en el apartado 3.3. indicaremos la posible génesis de estas rocas carbonatadas.

3.1.3. Características de las arenas superficiales

En este apartado se procede a caracterizar el sedimento eólico superficial. Para ello, se han tomado muestras de arenas en distintos puntos del sistema, tal y como se

comentó en el capítulo II. Los análisis realizados han sido el petrográfico, para siete muestras, y el textural y químico, para otras nueve.

3.1.3.1. Resultados de los análisis petrográficos

En líneas generales (tabla III.2), los granos identificados se encuadran en los tres componentes deposicionales descritos para las rocas sedimentarias (aloquímicos, terrígenos y ortoquímicos), pero con algunas características diferentes. Así, entre los componentes aloquímicos organógenos, además de los detallados, se han identificado otros restos de bioclastos, como crustáceos y tubos de gusanos anélidos y foraminíferos planctónicos (algún resto organógeno no se ha podido clasificar por falta de criterios morfológicos o estructurales). Por lo que respecta a los terrígenos, cabe indicar que en algunas muestras aparecen detríticos microcristalinos y criptocristalinos (con tamaño de grano de limo y arcilla), que han sido englobados con el término de “matriz”. Por último, los ortoquímicos aparecen representados por granos de “intraclastos” de micrita, de esparita, o mezcla de los dos cementos, más otros componentes deposicionales. Estos intraclastos se habrían formado por la cementación carbonatada de fragmentos de aloquímicos y terrígenos, dando lugar a un grano que se removiliza posteriormente. Algunos de los intraclastos están muy re trabajados y redondeados, por lo que se trataría de “litoclastos”, y algunos de los constituidos sólo de micrita podrían ser “pelloides” o “pellets” (excrementos de organismos marinos).

En cuanto a los resultados del análisis petrográfico, las muestras de sedimentos estudiadas se distinguen unas de otras por sus diferentes características texturales, y porcentajes de abundancia de componentes deposicionales (tabla III.2). Teniendo en cuenta estas diferencias, las siete muestras de sedimentos se han clasificado en tres grupos, que se comentan a continuación.

Componentes / Muestras	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
Mallas de algas rojas	20,3	30,3	33,3	25,6	40,6	27,3	36,6
Moluscos	10,6	10,6	11,3	9,6	12,0	10,3	13,3
Foraminíferos	1,0	2,0	1,0	0,0	1,0	1,3	1,3
Briozoos	1,0	0,3	1,0	0,0	1,3	1,3	2,0
Otros bioclastos	3,6	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0	1,6
Cementos e intraclastos	2,0	0,3	0,3	12,6	1,0	0,6	3,0
Fragmentos de rocas máficas	2,3	4,3	3,0	1,0	2,6	2,6	3,6
Fragmentos de roca sálicas	25,3	27,3	18,6	17,0	14,0	10,3	20,0
Clinopiroxenos y olivinos	12,6	9,6	16,3	14,6	18,3	24,3	6,3
Feldespatos y feldespatoides	4,0	7,6	2,3	3,6	2,3	1,0	6,0
Matriz	17,0	---	---	15,3	---	---	---
Otros componentes deposicionales	---	7,0	12,6	---	6,6	20,6	6,0

Tabla III.2. Porcentajes de abundancia relativa de los componentes deposicionales en %, obtenidos del conteo de 300 puntos en las láminas delgadas

El primer grupo está representado por las muestras A1 (sedimentos de los espacios interdunares) y A4 (sedimentos de la llanura salitrosa), que, a simple vista, presentan un color beige claro, donde se distinguen algunos granos marrones. Desde el punto de vista textural, estas dos muestras están muy mal clasificadas, pues sus granos presentan un sorting por encima de 1, contienen componentes desde 3 mm de diámetro (arena gruesa y cantos) a otros inferiores a 5 μ m, definidos como matriz (limos y arcillas). Estos últimos no se han identificado ópticamente, por estar sus tamaños por debajo del poder de resolución del microscopio petrográfico. No obstante, las partículas que predominan tienen diámetros entre 0,2 y 0,4 mm, es decir de arena media, y su redondez varía de “muy redondeados” a “subredondeados” (figuras de III.12 a III.14). En general, las partículas identificadas que predominan son granos de mallas de algas calcáreas esqueletales rojas (entre 20,3% y 25,6%), fragmentos de rocas sálicas (entre 18,6% y 25,3%), matriz (entre 15,3% y 17%), piroxenos y olivinos (entre 12,6% y 14,6%) y restos de moluscos (entre 9,6% y 10,6%). Algunas características particulares de los granos encontrados en estas muestras son, por ejemplo, la presencia de intraclastos y fragmentos de roca de tamaños milimétricos (figura III.13); restos de moluscos con centros incoloros y bordes amarillentos ferruginosos (figura III.12); oogonios calcificados de algas verdes carofitas rellenos de matriz y otros granos (figura III.14); mallas de algas rojas con dos

tonalidades en su estructura reticular o algunas adosadas a su sustrato original; e intraclastos de micrita y esparita, o dos generaciones de micrita (figura III.12).

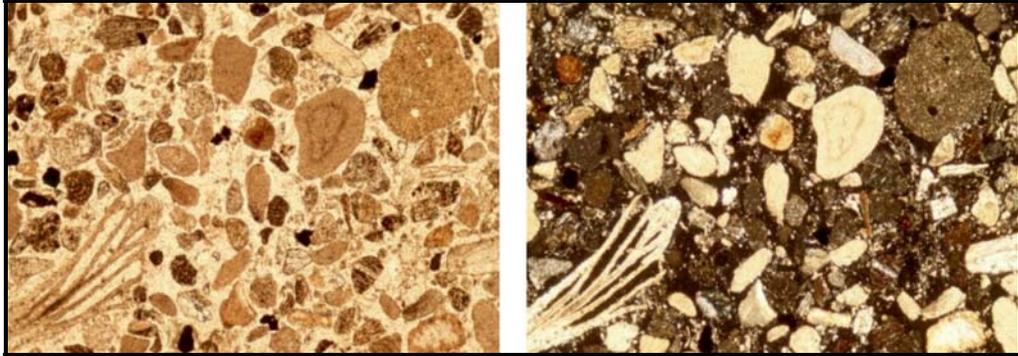


Figura III.12. Muestra A1. Partículas de diversos tamaños (arena gruesa a muy fina) y algunas de limo y arcilla, matriz que se aprecia mejor con NC. Los granos son de diferente naturaleza (bioclastos y terrígenos) y con características peculiares, v.g.: malla de algas de 0,4 mm con dos tonos de cemento micrítico (en el centro); resto de una colonia de briozoos de 1 mm (inferior izquierda); intraclasto de micrita con aspecto de pelloide de 0,5 mm (superior derecha); concha de molusco incoloro con borde ferruginoso de 0,2 mm (inferior derecha) (40X, NP (f. izqda), NC (f. dcha))

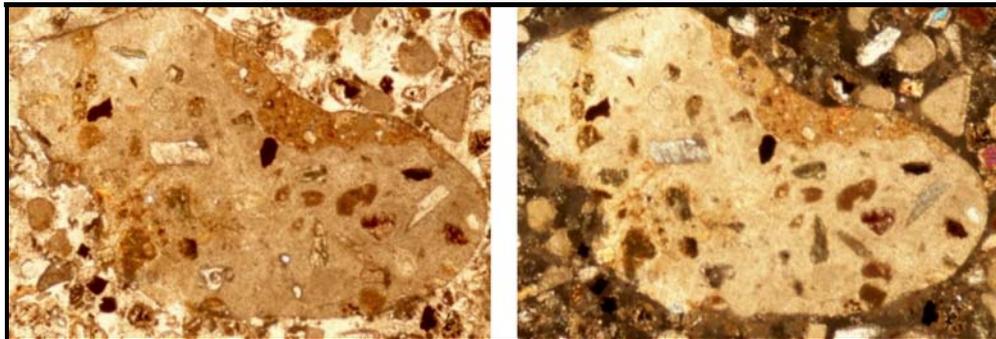


Figura III.13. Muestra A4. Detalle de un intraclasto de 2,2 mm conteniendo dos cementos de micritas de tonos beige diferentes y aglutinando distintos componentes deposicionales (fragmentos de rocas sálicas, óxidos de Fe-Ti, feldespato, moluscos, malla de algas) (40X, NP (f. izqda), NC (f. dcha))

En el segundo grupo se considera a la muestra A6 (punta de la Bajeta), de color beige oscuro. Texturalmente, estos sedimentos están moderadamente clasificados, pues tienen un sorting de 0,5, y los granos presentan tamaños que oscilan entre 0,05 y 1,5 mm (arena muy fina a muy gruesa), aunque casi todos presentan diámetros entre 0,1 y 0,4 mm (arena fina a media), y su redondez varía desde “muy redondeados” a “subredondeados” (figuras III.15 a III.17). Como peculiaridad de esta muestra está la presencia importante de

ferromagnesianos (óxidos de Fe-Ti, olivinos, clinopiroxenos y anfíboles), que llegan a alcanzar porcentajes de un 47%, y que no presentan fracción matriz (limos-arcillas).

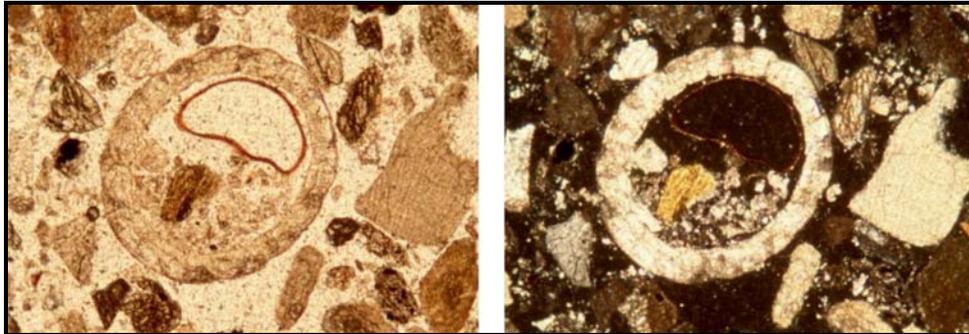


Figura III. 14. Muestra A1. Oogonio calcificado, de 0,5 mm de diámetro máximo, de algas verdes carofitas, relleno de matriz y otros componentes (100X, NP (f. izqda), NC (f.dcha))

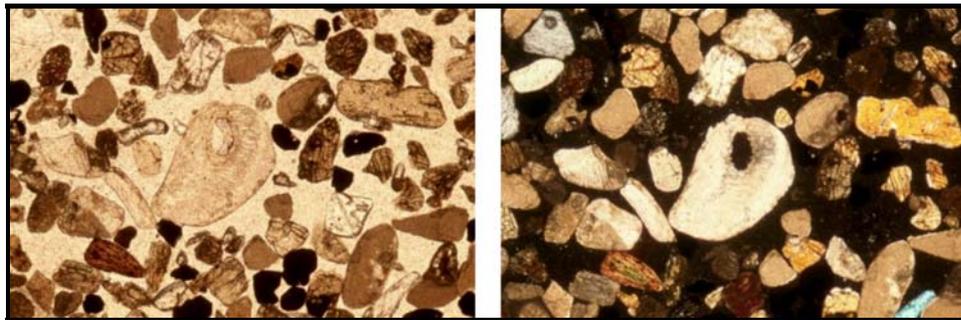


Figura III.15. Muestra A6. Partículas de diversos tamaños (arena gruesa a fina) caracterizadas ópticamente como óxidos de Fe-Ti (negros), mallas de algas rojas de color crema oscuro y estructura reticular, fragmentos de conchas de moluscos de color crema claro (parte central), otros bioclastos (foraminíferos), fragmentos de rocas sálicas y minerales (clinopiroxenos, feldespatos y anfíboles). Granos bastante redondeados y moderadamente clasificados (40X, NP (f. izqda), NC (f. dcha))

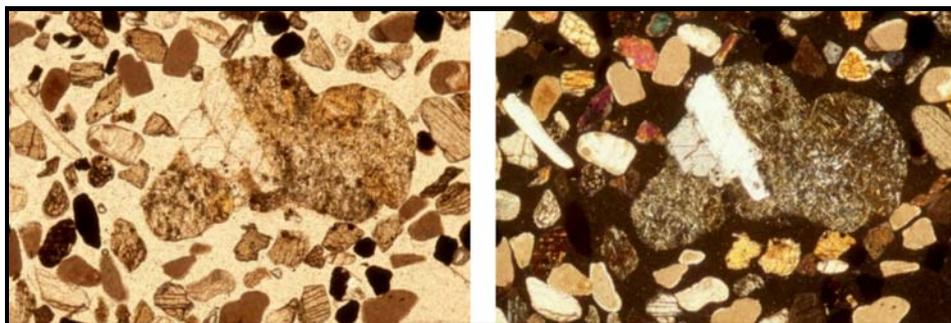


Figura III.16. Muestra A6. Fragmento de roca sálica de 1,5 mm (parte central) constituido por una matriz de vidrio y microcristales de feldespatos y, como fenocristales, dos feldespatos unidos y algún anfíbol. (40X, NP (f. izqda), NC (f. dcha))



Figura III.17. Muestra A6. Centro: intraclasto de 0,6 mm, conteniendo micrita con algo de esparita y fragmentos de moluscos y cristales de feldespatos (40X, NC (f. izqda), NP (f. dcha))

El tercer grupo está representado por las muestras correspondientes a las propias dunas, de color beige claro: A2 y A3 (sedimentos de dunas estabilizadas), A5 (sedimentos de la primera línea de dunas, cerca de la punta de la Bajeta) y A7 (dunas móviles cerca de la Charca de Maspalomas). Por lo que se refiere a sus caracteres texturales, estos sedimentos están muy bien clasificados, pues muestran sorting de $\leq 0,35$, tienen granos con diámetros entre 0,8 mm y 0,1 mm (arena fina a gruesa), aunque predominan los comprendidos entre 0,2 y 0,5 mm (arena media), y su redondez varía de “muy redondeados” a “subredondeados” (figuras III.18 a III.20). En general, las partículas de estas muestras presentan las mismas características que ya hemos indicado para los grupos anteriores, si bien podemos decir, de forma particular, que los granos que predominan son los de mallas de algas rojas (entre 30,3% y 40,6%), los restos de moluscos (entre 10,6% y 13,3%) sobre otros bioclastos ($<5\%$), los fragmentos de rocas sálicas (entre 14% y 27,3%) sobre las máficas ($<4,3\%$), y los minerales ferromagnesianos (entre 12,3% y 28,9%) sobre los leucocratos ($<7,6\%$). Las peculiaridades de este grupo, con relación a los anteriores son: la ausencia de matriz (limos-arcillas), que es característica del primer grupo, y la menor abundancia de minerales ferromagnesianos (óxidos de Fe-Ti, olivinos, clinopiroxenos y anfíboles), típica del segundo grupo.

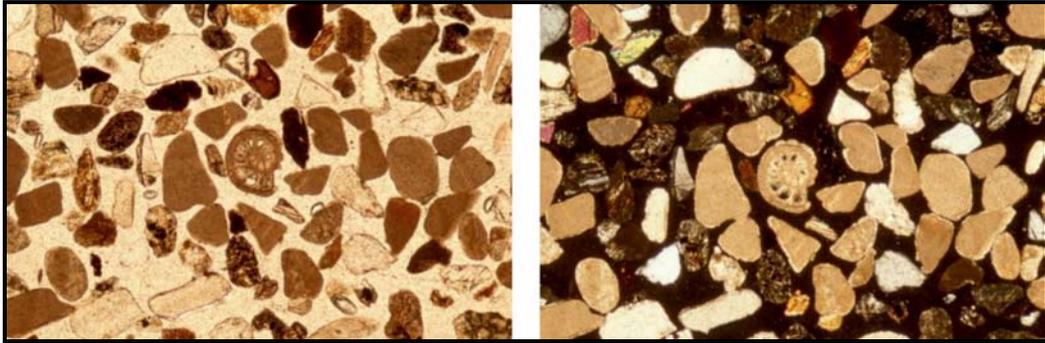


Figura III.18. Muestra A7, de grano medio, bien clasificada y redondeada. Foraminífero bentónico de concha ferruginosa (parte central), abundantes restos de mallas de algas de color crema oscuro y de conchas de moluscos de tonos incoloros, y varios terrígenos como fragmentos de roca sálicos y minerales (clinopiroxenos, olivinos, anfíboles, feldespatos, óxidos de Fe y Ti) (40X, NP (f. izqda), NC (f. dcha))

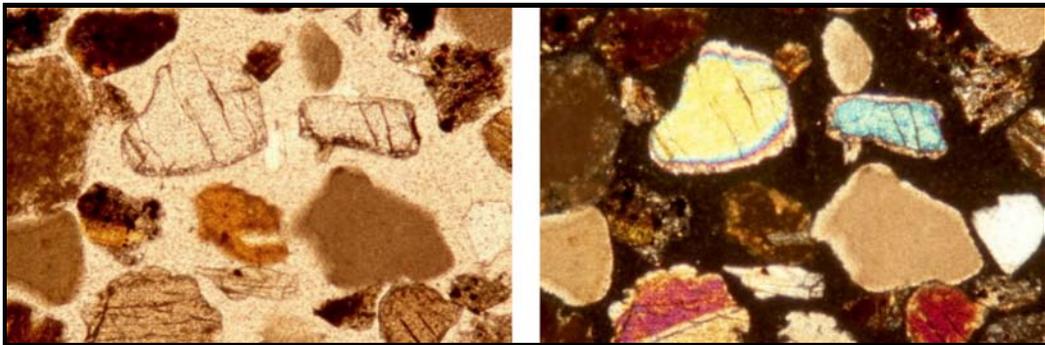


Figura III.19. Muestra A2. Dos cristales de olivino (parte central) y ópticamente caracterizados con NP por tener alto relieve, ser incoloros y presentar fracturas irregulares, y con NC mostrar colores de interferencia altos del 1 orden. Cristales (parte inferior) de clinopiroxeno (augita) de tonos marrones, alto relieve, exfoliaciones y fracturas marcadas con NP, y con NC uno de ellos presenta una macla de dos individuos y colores vivos. También hay granos de feldespatos, fragmentos de roca y las mallas de algas presentan un borde microesparítico alrededor (100X, NP (f. izqda), NC (f.dcha))

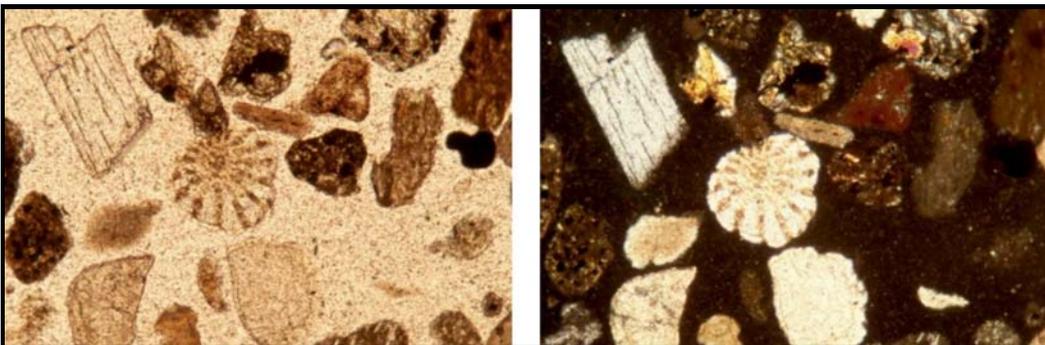


Figura III.20. Muestra A7. Fragmento de espícula de equínidos (erizo) con la característica textura fibroso radiada (parte central), junto con otros granos de fragmentos de rocas sálicas, moluscos, óxidos de Fe-Ti y clinopiroxenos (100X, NP (f. izqda), NC (f. dcha))

En conclusión, los tres grupos de sedimentos definidos representan tres ambientes sedimentarios diferentes. Así, los relativos al primer grupo, reflejarían zonas de acumulación y fijación de partículas de diferente tamaño, sin clasificar dentro del campo dunar; los del segundo grupo estarían asociados a una zona de gran energía, por el predominio de minerales densos (ferromagnesianos) y moderadamente clasificados; y los del tercer grupo serían los sedimentos eólicos típicos del campo dunar, con granos de arena bien clasificados por tamaños y densidades, bien redondeados, y con pequeñas diferencias en los porcentajes de abundancia de sus componentes deposicionales.

Las diferencias de los porcentajes de abundancia (tabla III.2) entre la muestra A6 (punta de la Bajeta, del segundo grupo) y la A5 (duna móvil cercana a la punta de la Bajeta, del tercer grupo) son mínimas, y sólo se ha observado una disminución del número de granos de ferromagnesianos y un aumento de bioclastos (moluscos y algas). Este comportamiento es lógico, pues, a igualdad de tamaños, el viento y el oleaje movilizarían más fácilmente los granos carbonatados de la Punta de Bajeta, al ser éstos menos densos que los ferromagnesianos. Si nos fijamos en los porcentajes en las dunas móviles (A5 y A7) y en las estabilizadas (A2 y A3) (tabla III.2), se observa que no hay diferencias significativas (menos mallas de algas rojas y moluscos, y más fragmentos de rocas sálicas), lo que representaría una distribución ligeramente irregular de los distintos granos en el campo dunar.

Con el fin de establecer las comparaciones oportunas, se ha consultado el trabajo de Alcantará-Carrió *et al.* (2000a y 2000b), donde se caracterizan los sedimentos eólicos holocenos de Jandía (sur de Fuerteventura), tanto desde el punto de vista textural, como mineralógico y paleontológico. Cotejando sus resultados con los nuestros, encontramos parecidos componentes deposicionales (aloquímicos, terrígenos y ortoquímicos) pero con diferencias en los porcentajes de abundancia. Así, ellos señalan para Jandía datos más altos de bioclastos (mallas de algas, moluscos, foraminíferos e intraclastos) que los definidos en Maspalomas, mientras que dan valores inferiores de fragmentos de roca y

minerales. Por otro lado, citan la presencia de granos de caliches y gasterópodos terrestres, que no aparecen en nuestras muestras. Como dato significativo, para Jandía se señala la presencia de cuarzo en la fracción matriz, al ser analizados los limos y arcillas por difracción de rayos X, interpretándose como procedente de fuentes africanas. Igualmente, al estudiar por rayos X la composición de los cementos, estos autores encuentran predominio de calcita y aragonito y, en menor proporción, la calcita magnesiana. También, en la descripción que hacen de los foraminíferos bentónicos, encuentran diversos géneros (como, por ejemplo, *Miliolinella*, *Rosalina*, *Gavelinopsis*, *Discorbinella*, *Laticarinina*, *Osangularia*, *Asterigenrianta*, y *Heterolepa*) que nosotros no hemos identificado. Por último, indican que son las dunas fósiles Pleistocenas, localizadas en el Istmo de Jandía, las áreas fuentes de los sedimentos eólicos actuales, y descartan las dunas fósiles Pliocenas presentes también en el área. Por lo tanto, la fuente de aporte de materiales detríticos en Jandía es distinta a la de Maspalomas, y de aquí las diferencias señaladas en la caracterización de los depósitos dunares.

Si comparamos las características petrográficas de los componentes deposicionales (aloquímicos, terrígenos y ortoquímicos) de los sedimentos eólicos de Maspalomas, con las descritas para las rocas sedimentarias estudiadas en la misma área, observamos que son muy parecidas, aunque con ligeras diferencias. Así, cuando se estudian los porcentajes de abundancia relativa de los componentes en las arenas, las diferencias más significativas con las rocas son que los sedimentos tienen más abundancia de fragmentos de moluscos (bivalvos, gasterópodos y ostreidos), mallas de algas y nuevos bioclastos, y algunas de las muestras de sedimentos estudiadas presentan fracción matriz e intraclastos de distintos tipologías. No obstante, cabe indicar que el porcentaje de moluscos en la eolianita y en los sedimentos es parecido. Por consiguiente, como primera conclusión cabría indicar que las áreas fuentes de los componentes para todos estos materiales de Maspalomas son similares. Así, los bioclastos descritos en las arenas eólicas se habrían formado en ambientes litorales someros (playa sumergida) o de plataforma de baja profundidad, como se ha descrito para las rocas carbonatadas, y los terrígenos procederían

de la erosión fluvial o marina continua de las rocas que afloran en los alrededores (fonolitas y traquitas del I ciclo magmático, brechas Roque Nublo, rocas sedimentarias de la Formación Detrítica de Las Palmas y/o sedimentos cuaternarios). En el apartado 3.3. se procederá a identificar su génesis.

3.1.3.2. Resultado de los análisis textural y químico

De la interpretación de los resultados obtenidos del análisis textural de las muestras (tabla III.3) deducimos que la arena es el componente dominante, cuestión lógica si atendemos a que nos encontramos en un ambiente dominado por depósitos eólicos. Los limos representan un porcentaje escaso en todas las muestras, y con baja variabilidad entre ellas. No ocurre lo mismo con las arcillas, cuya proporción es importante (17% de media en las muestras comprendidas entre S2 y S10), aunque tampoco existen grandes diferencias entre las muestras, salvo en el caso de la S1, que alcanza el 34%. Esta cifra resulta especialmente interesante, dado que S1 corresponde a materiales aluviales de un antiguo cauce de barranco, hoy inutilizado y cubierto por las arenas, tal y como explicaremos más extensamente en el apartado 3.3..

En cuanto a la clasificación textural (figura III.21), observamos que todas las muestras responden a la clase “franco-arenosa”, salvo la muestra S1, que es “franco-arcillo-arenosa”. Hay que señalar que, en la representación gráfica, la ubicación de las muestras clasificadas como franco-arenosas no se ha realizado exactamente, con el fin de facilitar la lectura, pues dada su similitud la mayoría se superponía.

Por lo que respecta a la conductividad eléctrica de la solución (1:5), existen diferencias muy significativas entre las muestras (figura III.22). Desde el punto de vista espacial, y a grandes rasgos, permite diferenciar dos ámbitos: el primero, con mayores valores, está representado por las muestras S9, S5, S7 y S8; es decir, aquéllas que se refieren a los sedimentos con una localización próxima a los afloramientos de las calcarenitas. Por su parte, el resto de las muestras presenta una baja conductividad.

Muestra	Conductividad 1:5	pH	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena gruesa (%)	Arena fina (%)
S1	190	8,0	34,0	0,8	19,1	45,9
S2	620	8,1	18,1	4,9	23,4	53,4
S3	190	8,1	19,2	1,6	19,9	59,1
S4	169	8,0	16,6	7,3	30,5	45,5
S5	4740	8,0	17,8	8,0	38,9	35,1
S6	350	8,0	15,4	6,4	13,1	65,1
S7	969	8,0	16,4	1,4	26,2	55,9
S8	926	8,1	15,8	3,3	35,0	45,9
S9	5620	8,1	16,6	4,7	18,1	60,5
S10	205	8,1	17,0	4,1	19,7	59,1

Tabla III.3. Resultados de los análisis textural y químico (pH y conductividad eléctrica ($\mu\text{mhos cm}^{-1}$))

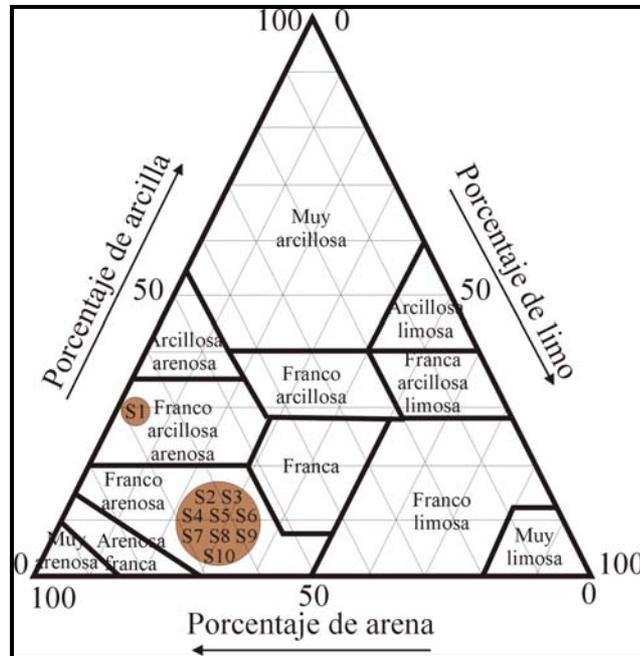


Figura III.21. Clasificación textural de las muestras de suelo

De la lectura de estos datos es posible detectar, al menos de forma provisional, una relación directa entre las calcarenitas y la salinidad obtenida de las muestras, por lo que probablemente sea este material el que, en su disolución, aporte una buena parte del contenido en sales al material sedimentario eólico superficial.

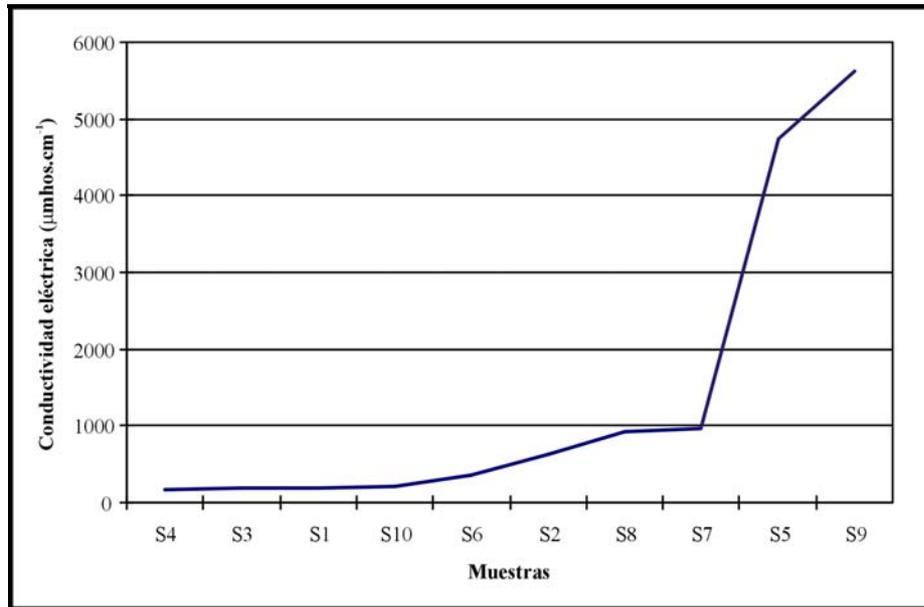


Figura III.22. Conductividad eléctrica de las muestras

Por lo que respecta al pH (tabla III.3) deducimos que, entre las muestras tomadas, no se pueden definir suelos alcalinos, siendo todas las analizadas de naturaleza salina, dado que ninguna supera el umbral de 8,5 de pH.

En resumen, deducimos un ámbito general caracterizado por la presencia de suelos arenosos y salinos, en el que es posible identificar, además, dos sub-ambientes bien definidos: el primero, en el interior del sistema; y el segundo, en el sector noroccidental. En relación al primero, está representado por las muestras con valores más altos en conductividad eléctrica (muestras S5, S7, S8 Y S9), por lo que podemos definirlo como muy salino. Posiblemente, en su origen se encuentre la disolución de las calcarenitas, que aportaría un exceso de sales.

Frente a este ambiente, aparece el indicado para el sector noroccidental, al que corresponde la muestra S1, y caracterizado por una menor conductividad eléctrica. Es la presencia de arcillas la que permite diferenciarlo claramente, pues corresponde a un canal

del barranco de Maspalomas que, a pesar de no ser funcional en la actualidad, debió serlo hasta hace escaso tiempo.

Según la clasificación de Sánchez (1975), para una cartografía de suelos 1/100.000, nuestra zona de estudio es la única de la isla donde aparece representado el Suborden Psamment, dentro del Orden de los Entisoles (Soil Taxonomy), con escaso desarrollo y evolución. Este Suborden está referido exclusivamente a los suelos de las dunas estabilizadas, de los que este autor no toma muestras, dado que las características observadas le permiten clasificarlo a simple vista (Sánchez, 1975: 333).

Un estudio a mayor detalle de estos suelos, y a falta de datos que permitan interpretar perfiles completos, sugiere que se trata de suelos minerales, sin perfil diferenciado, debido a que su material originario es muy rico en minerales de tamaño arena. Se les consideran una elevada inercia edafogénica, dado que los minerales de las arenas presentan una elevada estabilidad frente a la meteorización (Porta *et al.*, 1994). El proceso edafogénico observado en el sector de las dunas fijas se reduce al oscurecimiento superficial, por la progresiva incorporación de materia orgánica al material mineral, que tiene lugar por las raíces y restos vegetales. En definitiva y, atendiendo a la clasificación FAO-UNESCO, se trataría de Arenosoles.

Pero, además, la carencia de aportes sedimentarios en el sector de las hoyas (C7), y los procesos de deflación observados, están posibilitando el afloramiento de antiguas llanuras aluviales, por lo que, en las áreas donde éstas aparecen, se puede identificar el Grupo Xerofluent (Suborden Fluvent), igualmente dentro del Orden de los Entisoles. En origen, este Grupo está referido a suelos que no se han terminado de formar, debido a que los continuos aportes aluviales imposibilitan su desarrollo (Porta *et al.*, 1994). Pero esta designación es, igualmente, aplicable a nuestro caso, dado que estos suelos han estado cubiertos por arenas durante un largo período, por lo que, aparentemente, no han experimentado procesos edafogénicos. Por otro lado, estas condiciones nos permiten

deducir que se trata de paleosuelos y, más concretamente, de suelos exhumados (Nettleton *et al.*, 2000).

En cuanto a la salinización, ésta se produce en aquellos suelos donde se da una acumulación de sales más solubles que el yeso (carbonatos y sales cloradas) y, en caso de que tengan un exceso de sodio, se denominan sódicos (Porta *et al.*, 1994). Desde el punto de vista ambiental, se entiende que los suelos de las llanuras a lo largo de las costas, bahías y marismas, suelen presentar acumulación de sales marinas, principalmente de cloruro sódico. Estas sales proceden de capas freáticas salinas poco profundas, de aguas de inundación por efectos mareales, y de los aportes de sales transportadas por el viento (principalmente aerosoles) (Richards, 1973). Dentro de estas áreas, las deltaicas o mixtas (ambientes fluvio-mareales), son más complejas, al haber interacciones entre el agua del mar, la transportada por la red hídrica (con un contenido en sales más bajo) y la procedente de la capa freática, con salinidad variable. En estos casos, se entiende que el equilibrio del sistema es muy frágil, dado que pequeñas variaciones en los niveles freáticos ponen en peligro los ecosistemas, con resultados que podrían resultar irreversibles (Porta *et al.*, 1994). Esta misma idea es aplicable en el caso de la destrucción de barreras naturales, que impiden el acceso al agua marina. En nuestro ámbito de estudio sería necesario considerar también el efecto que tiene la disolución de los depósitos de calcarenitas de origen marino sobre la vegetación.

En líneas generales, el crecimiento de las plantas en medios salinos se ve afectado negativamente, aunque eso depende estrechamente del tipo de especie de que se trate. Por lo general, la sintomatología que se observa está relacionada con una inhibición irreversible del crecimiento, como retardo en la nascencia; menor área foliar y talla de la planta (dado que el crecimiento es más lento y no llega a ser completo); menor producción de materia seca; necrosis en las hojas; o, finalmente, muerte de la planta antes de completar su desarrollo, cuando las condiciones son extremas (Porta *et al.*, 1994).

La salinidad y sodicidad, en muchos casos, actúan de forma simultánea, por lo que es imposible, en la práctica, identificar sus efectos de forma individual. En el caso de salinidad, se considera el efecto osmótico, debido a que las sales disminuyen el potencial osmótico del agua del suelo, por lo que se puede llegar a producir plasmolisis, es decir, paso del agua de la planta al suelo. Las especies vegetales capaces de desarrollarse en medios salinos (halófilas) presentan distintas adaptaciones, como es el caso de las Crinohalófilas, que tienen glándulas excretoras que les permiten eliminar soluciones altamente salinas. Entre ellas cabría citar *Tamarix sp.*, *Limonum sp.* o *Frankenia Pulvurulenta* (Porta *et al.*, 1994). Cuando las sales superan las adaptaciones de las plantas, se produce su muerte.

3.2. Vegetación

La vegetación actual la hemos caracterizado mediante la realización de inventarios florísticos, elaboración de perfiles fitoestáticos y el análisis de las comunidades. Con el primer ejercicio señalado se ha procedido a la actualización del inventario florístico del campo de dunas. Éste cuenta con 79 especies, de las que sólo se señalan, para este trabajo, las 19 más significativas, bien por su relación con la dinámica de los sedimentos; bien por su carácter indicador de la evolución que ha experimentado el sistema en los últimos 40 años. Su descripción se detalla en el Anexo de esta investigación.

Del mismo modo, se ha procedido a la caracterización de las comunidades vegetales, cuyos resultados se presentan a continuación.

3.2.1. Comunidades vegetales

La existencia de diferentes tipos de hábitat, así como la dispar incidencia de la presión antrópica, permiten diferenciar entre las comunidades de vegetación de ramblas o cauce y de la Charca del barranco de Maspalomas (especialmente la vegetación acuática y de algas flotantes no incluidas en este trabajo), las que se localizan en la franja litoral, las

que lo hacen en los espacios interdunares de las dunas móviles y, finalmente, las que ocupan el interior de las dunas.

Así, trazando un perfil fitoestático N-S, elaborado para el sector central del área de estudio (figura III.23), se considera que la distribución de la vegetación responde a dos factores claves: por un lado, la distancia al mar, que determina la presencia de especies más o menos halófilas, más afectadas por la maresía y la presencia subálvea de agua salada. Por otro, el sustrato y su localización altitudinal, relacionada con el volumen de materiales (terracea aluvial baja y sedimentos eólicos), que influye en la adaptación de especies más o menos psammófilas, aunque también halófilas, cuando el volumen de los materiales es escaso y se alcanzan cotas donde el agua del mar asciende por capilaridad. Otro factor lo constituye la dinámica sedimentaria eólica que, si bien será explicada con detenimiento en el siguiente capítulo, baste adelantar que está fuertemente condicionada por la presencia de la terraza sedimentaria del Inglés, que funciona como obstáculo al tránsito de las arenas por el sector interior del sistema dunar.

De este modo, en las áreas interiores, cercanas al campo de golf (en cuyo contacto aparecen especies introducidas), se observa la presencia de una “pradera” estacional, con especies psammófilas, adaptadas a un sustrato de arenas estabilizadas. Siguiendo el recorrido del perfil, en el contacto con las grandes dunas, más antiguas, los ejemplares de *Tamarix canariensis* forman bosquetes en depresiones interdunares, y también colonizan las crestas de grandes dunas, incidiendo en su estabilización. Hacia la mitad del recorrido, la altitud disminuye de forma brusca, y aparecen matorrales adaptados a condiciones extremas de salinidad y estabilidad del sedimento (matorrales de *Suaeda vermiculata*). En el último tramo del perfil, aparecen especies condicionadas por la salinidad del sustrato, aunque se diferencian las comunidades especialmente adaptadas a vivir entre las dunas móviles (“céspedes” de *Cyperus laevigatus*), de aquellas que lo hacen en entornos muy salinos (matorral de *Traganum moquinii*).

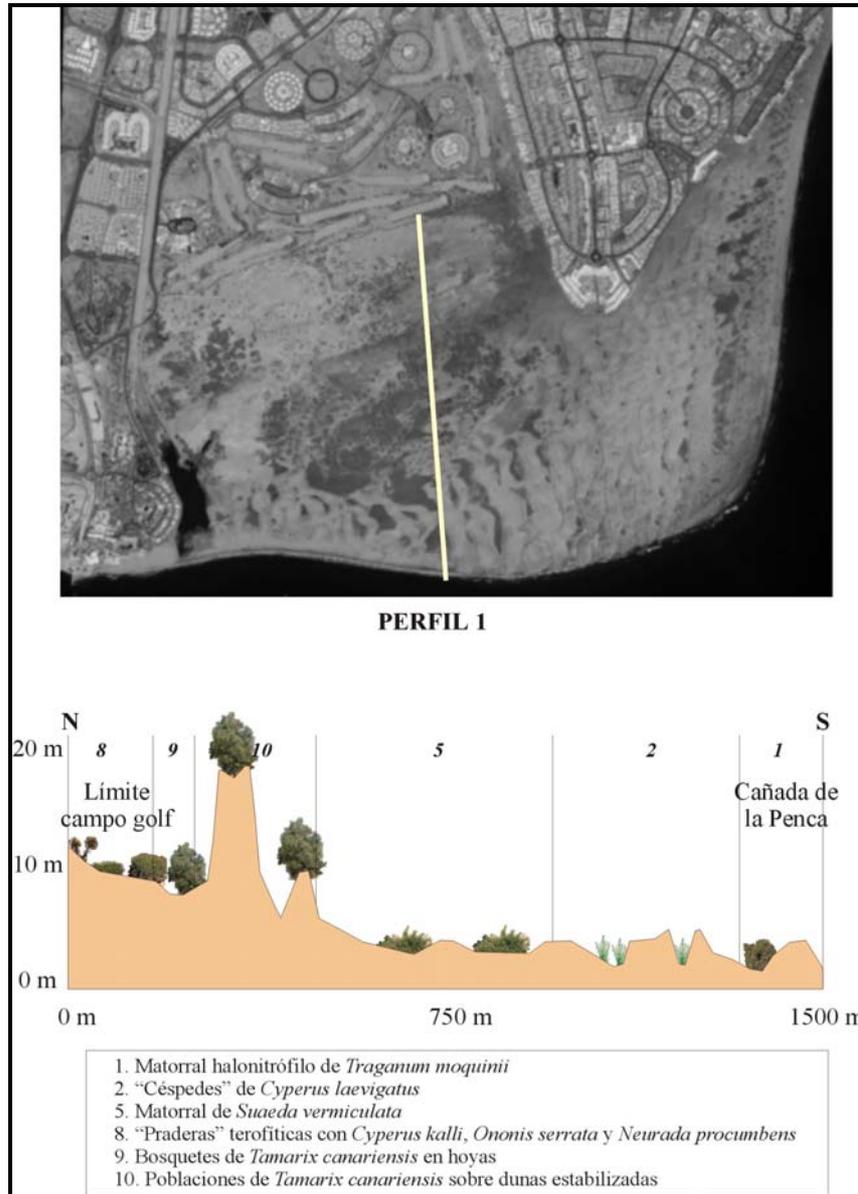


Figura III.23. Perfil fitoestático N-S

En un recorrido de NE a SO por el sistema interior (figura III.24), caracterizado por la escasa movilidad del sedimento eólico, podemos observar, en la mayor parte del recorrido, una clara alternancia entre comunidades de *Tamarix canariensis* y “praderas” terofíticas estacionales. Las primeras aparecen en distintas situaciones, dependiendo de las geoformas sobre las que se instalan, por lo que pueden aparecer culminantes sobre

grandes dunas que todavía tienen cierta movilidad o ya se han estabilizado, o formando bosquetes en los antiguos espacios interdunares. Por su parte, las “praderas” colonizan el resto del territorio, aprovechando la estabilización del sedimento, e incidiendo en ella.

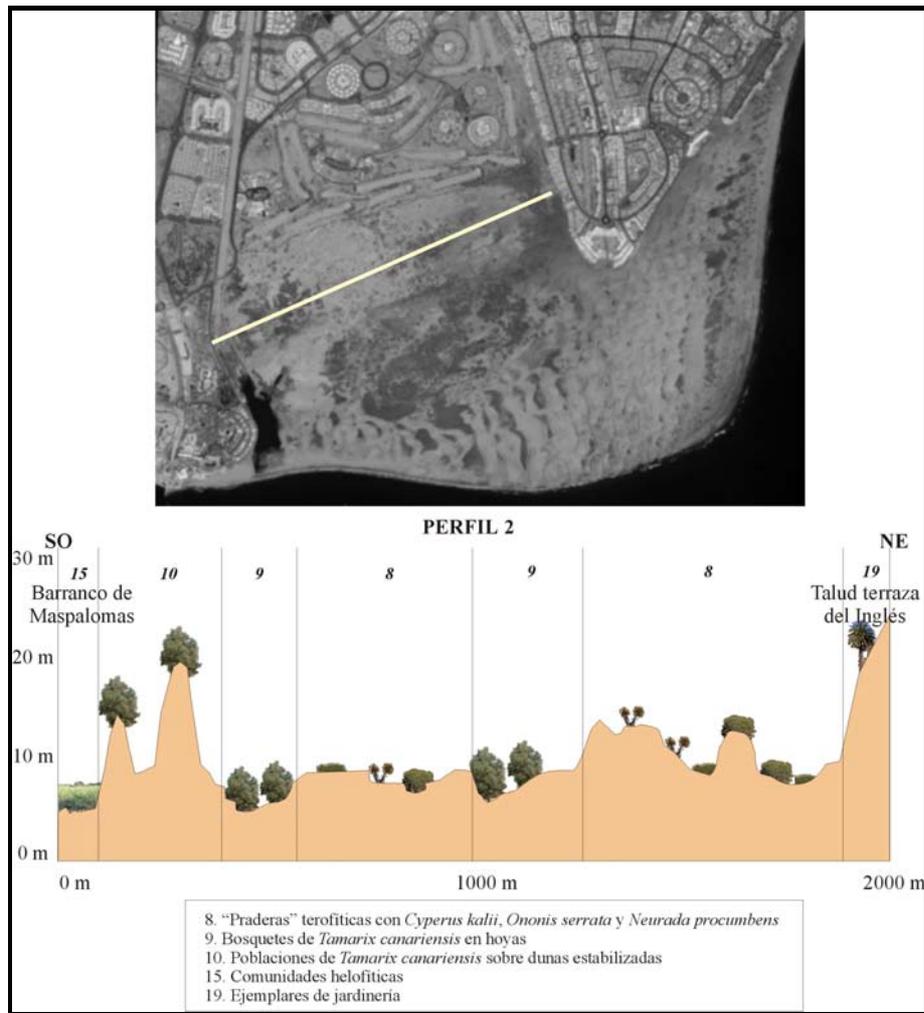


Figura III.24. Perfil fitoestático NE-SO por el sistema interior

Por último, en el inicio del perfil (NE) se localizan ejemplares de jardinería, vinculados al desarrollo urbano de la terraza del Inglés. El otro extremo del perfil (SO) está caracterizado por la presencia de comunidades helofíticas, que se desarrollan en los alrededores y en el interior del cauce y encharcamientos del barranco de Maspalomas.

Considerando los distintos hábitats del sistema, podemos distinguir 11 comunidades vegetales diferentes (mapa actual de formaciones y comunidades vegetales), algunas de las cuales, como la comunidad de *Tamarix canariensis*, adquiere distintas características según su localización.

A continuación se detallan las principales características de las comunidades vegetales delimitadas:

- **Matorral halonitrófilo de *Traganum moquinii***. Este matorral caracteriza la franja litoral, representando el primer obstáculo natural que intercepta la entrada de sedimentos eólicos al sistema. Se trata de una comunidad compuesta exclusivamente por el arbusto *Traganum moquinii* que, a distancias comprendidas entre los 50-150 m de la línea de costa, se extiende desde el inicio de playa del Inglés hasta la punta de la Bajeta, localizándose igualmente en un enclave de la playa de Maspalomas: la Cañada de la Penca.

Actualmente presenta serios daños, tanto en la Playa del Inglés, donde los individuos de esta especie son utilizados para la protección contra el viento, como en todo el ámbito dunar (especialmente en la Cañada de la Penca), al ser utilizados como improvisados urinarios. Precisamente, es la presión antrópica en la franja litoral la que ha conseguido frenar el potencial regenerador de estas plantas primocolonizadoras. Así, los jóvenes brinzales de balancón que germinan, crecen unos centímetros y son pisoteados por los usuarios de la playa (figura III.25). Este hecho puede tener serias consecuencias para el sistema dunar, dado que los ejemplares de mayor porte son los que mantienen, en la playa del Inglés, la foredune, que impide el acceso del agua marina al interior del campo de dunas. Su desaparición (por destrucción o muerte natural) podría suponer, por tanto, la destrucción de este cordón dunar.



Figura III.25. Brinzal de *Traganum moquinii*

- **Céspedes de *Cyperus laevigatus***. Se localizan en los espacios interdunares (figura III.26). Son comunidades estrictamente halófilas, y están caracterizadas por céspedes muy vigorosos de la ciperácea *Cyperus laevigatus ssp. laevigatus*, con pocas especies acompañantes. Esporádicamente también se observan ejemplares de tarajal (*Tamarix canariensis*), salados (*Suaeda vermiculata*, *Salsola kalli*) o aulagas (*Launaea arborescens*). *Cyperus laevigatus ssp. laevigatus* se encuentra especialmente adaptada a la dinámica dunar, de forma que avanza por delante de las dunas, colonizando áreas donde las arenas presentan mayor movilidad.

Se desarrollan sobre las arenas humedecidas por el nivel marino que, tanto por capilaridad como, temporalmente, en mareas altas, anegan los espacios interdunares. Estas introgresiones del agua de mar en el interior del sistema de dunas móviles, a través de estas hoyetas, se corrobora por la presencia, en el contacto de las mismas con el cordón litoral de la terraza aluvial baja, de ejemplares aislados de balancón (*Traganum moquinii*), especie marcadamente litoral. Las incrustaciones salitrosas son comunes en estos sustratos, recubriendo las depresiones arenosas.



Figura III.26. Céspedes de *Cyperus laevigatus ssp. laevigatus*

- **Población de *Zygophyllum fontanesii*.** También en los espacios interdunares se ha observado, en los últimos años, la expansión progresiva de una población de *Zygophyllum fontanesii* en el borde de la llanura salitrosa de Maspalomas (figura III.27). Esta planta conocida como *uvilla de mar* ha colonizado completamente una de las hoyas arenosas, conjuntamente con *Suaeda vermiculata* y algunos ejemplares de *Tamarix canariensis*.



Figura III.27. Población de *Zygochloa fontanesii*

Por lo que respecta al interior de las dunas, donde los sedimentos eólicos se encuentran más estabilizados, se diferencian las siguientes comunidades:

- **Matorrales de *Suaeda vermiculata***. Su existencia está vinculada a un sustrato con mayor contenido en arcilla y sales. Su evolución ha sido progresiva y paralela a la pérdida de arena del sistema dunar. En unos casos forma matorrales monoespecíficos, y en otros aparece con los cortejos que se describen en la tabla III.4.

Hemos delimitado tres zonas donde se localizan estos matorrales: la primera se encuentra en el interior del Alto de la Tabaibilla, en la base de una hoyeta con abundantes contenidos en arcillas, limos y materiales aluviales; la segunda, en las cercanías del antiguo Hotel Dunas, sobre los sustratos aluviales removilizados del antiguo cauce del barranco de Maspalomas; y la tercera, más monoespecífica, sobre los afloramientos del sustrato que han sido exhumados como consecuencia de los procesos de deflación que se han producido en el sector central del sistema dunar.

En el primer caso, la zona donde se expande *Suaeda vermiculata* es más heterogénea. Ocurre en el interior de las dunas, en una hoyeta situada a unos 6 m.s.n.m., con suelos

arenosos en superficie, y con arcillas y areniscas en la base. Aquí participa en un matorral muy denso, con tarajales, pastizal de *Cenchrus ciliaris*, mayor densidad de gramíneas, como *Eragrostis barrelieri*, y mayor densidad de aulagas (*Launaea arborescens*) y *Heliotropium perubianum*. También en esta unidad aparece una pequeña población de *Lycium cf. intricatum* con un desarrollo espectacular. Posiblemente, su existencia sea debida a una antigua concentración ganadera en este lugar, hipótesis que se ve apoyada al ser la única localidad de las dunas donde observamos una población de la gramínea perenne *Stipagrostis ciliata*, especie forrajera que se ve en la actualidad abundantemente comida por los conejos.

Taxones / Inventarios	Zona Hotel Dunas	Llanura salitrosa	Sustratos exhumados
<i>Suaeda vermiculata</i>	4.4	3.3	5.5.
<i>Mesembryanthemum crystallinum</i>	3.3	...	+.+
<i>Aizoon canariense</i>	3.3	...	+.+
<i>Tamarix canariensis</i>	1.1.	+.+	....
<i>M. nodiflorum</i>	1.1.	...	....
<i>Launaea arborescens</i>	+1	....	....
<i>Schyzogine sericea</i>	1.2	....	....
<i>Patellifolia patellaris</i>	1.1	....	....
<i>Arundo donax</i>	+.+	....	....
<i>Nicotiana glauca</i>	+.+	....	....
<i>Volutaria lippii</i>	1.1.	....	....
<i>Heliotropium perubianum</i>	1.1	....	...
<i>Fagonia cretica</i>	1.1	...	....

Tabla III.4. Inventarios de matorrales de *Suaeda vermiculata*

En el segundo caso, la concentración de carbonatos que generó la removilización de los sustratos aluviales del barranco, junto con las obras de ejecución del derribado Hotel Dunas, ha propiciado la proliferación de *Suaeda vermiculata*. En este enclave aparece asociado a numerosas especies “agresivas”, como *Nicotiana glauca*, *Mesembryanthemum crystallinum* y *Mesembryanthemum nodiflorum*.

En el tercer caso, la caracterización de estos matorrales aparece asociada a la terraza sedimentaria que se ubica a unos 2,5 m de altitud, y que aflora de modo esporádico en medio de la zona de dunas altas, fijadas por la vegetación de tarajales (figura III.28).

Estos ambientes, que se encharcan temporalmente en el transcurso de precipitaciones esporádicas (figura III.29), concentran abundante material arcilloso y, aparentemente, tienen un alto contenido en sales, previsiblemente por disolución de las calcarenitas (figura III.30). Pocas especies, tan sólo los tarajales y *Suaeda vermiculata*, se observan en estas situaciones.

En algunos puntos de esta unidad, dada la alta concentración de sales del sustrato, esta comunidad presenta un elevado deterioro, con abundantes partes muertas en cada ejemplar y con escasas manifestaciones de vitalidad, que denotan años de fuerte sequía y situaciones de estrés hídrico. Su aspecto se modifica sustancialmente después de buenos años de lluvia.



Figura III.28. Comunidad de *Suaeda vermiculata* sobre sustrato exhumado

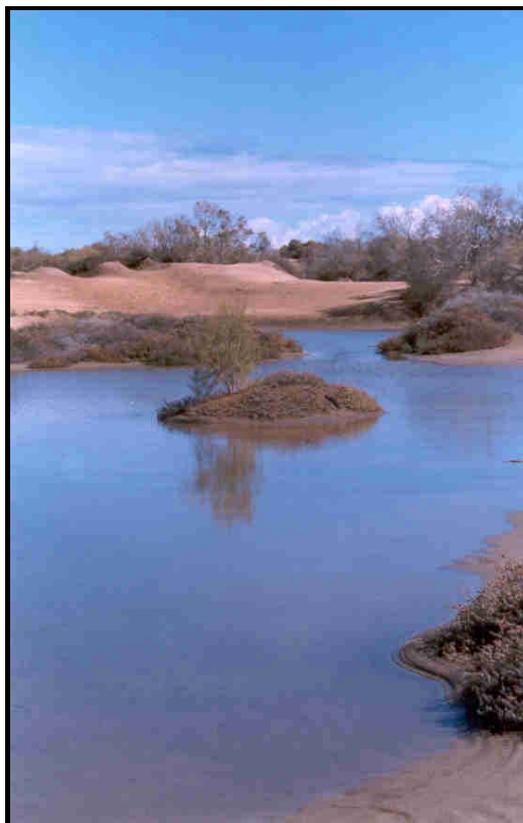


Figura III.29. Terraza baja encharcada tras unas precipitaciones intensas



Figura III.30. Depósitos salinos superficiales, tras la evaporación

- **Matorrales de *Juncus acutus*, *Schizogyne glaberrima* y *Launaea arborescens*.** Constituye una de las comunidades con mejor vigorosidad y mayor densidad entre las que se localizan en las hoyas del interior del sistema dunar (figura III.31). Se desarrollan en los sustratos arenosos, depositados sobre los sedimentos aluviales que forman la terraza baja, donde el nivel freático aparece a menos de 1 metro de profundidad.

Caracterizan a esta comunidad los excelentes rodales de *Juncus acutus* que se observan en los mismos, con proliferación de aulagas (*Launaea arborescens*) y salados (*Schizogyne glaberrima*), así como la presencia de ejemplares en excelentes condiciones de vitalidad de tarajales (*Tamarix canariensis*) y palmeras (*Phoenix canariensis*). De igual forma, crecen especies introducidas, como *Acacia farnesiana*, la grama (*Cynodon dactylon*) y *Nicotiana glauca*, y aparecen ejemplares aislados de *Plocama pendula*. En los enclaves más arenosos se localiza *Heliotropium peruvianum*.



Figura III.31. Comunidad de *Juncus acutus*, *Schizogyne glaberrima* y *Launaea arborescens*

En estas hoyetas, lugar de encuentro de numerosos turistas, se producen esporádicos incendios que posibilitan la incorporación de nutrientes al suelo. Este hecho, en conjunción con la existencia de un subsuelo humedecido, facilita una pronta regeneración de la comunidad, que recupera su anterior fisonomía en escasos años.

- **Matorrales de *Launaea arborescens*.** Estos matorrales, prácticamente monoespecíficos, aparecen en los espacios interdunares, tanto entre las dunas móviles, como entre las fijas, por lo que, atendiendo a esta característica, hemos procedido a su diferenciación. Así, los primeros, se desarrollan en el frente de las dunas móviles que bordean el sistema de dunas fijas (figura III.32). Aparentemente son temporales, con una explosión estacional, y no logran medrar, dado el paso de las dunas móviles sobre ellos. Se asocian a la terraza sedimentaria baja más antigua, situada a unos 2,5 metros de altitud. En este ambiente también proliferan brinzales de *Tamarix canariensis*, de los que muy pocos llegan a la talla de arbustos. A ellos se asocia *Heliotropium peruvianum*.



Figura III.32. Matorral de *Launaea arborescens* sobre la terraza baja

Por su parte, los matorrales de *Launaea arborescens* del sistema interior, que se desarrollan sobre dunas fijas, colonizan los antiguos espacios interdunares (figura III.33). Se asientan sobre sustratos a unos 8 metros de altitud, en los que se identifica la presencia de arcillas, así como cantos con costras carbonatadas. Este ambiente tiene cierta hidromorfía superficial, por encharcamientos de aguas pluviales. En estas vaguadas *Launaea arborescens* adquiere una densidad y porte considerables, y aparece asociada a ejemplares de *Plocama pendula* y a ciertas gramíneas, como *Cenchrus ciliaris* y *Cynodon dactylon*, así como la boraginácea *Mayretis microsperma*.



Figura III.33. Matorral de *Launaea arborescens* en espacios interdunares en dunas fijas

- **Bosquetes de *Tamarix canariensis***. Se localizan de forma generalizada por todo el interior del sistema, mostrando notables diferencias en cuanto a su porte, vigor, sociabilidad y edad. En unos casos constituyen pequeños bosquetes densos, coincidiendo con la existencia de aguas subálveas a escasa profundidad, mientras que en otros aparecen individuos o grupos aislados con abundantes partes secas. Esto último se debe tanto a

causas naturales (avance de las dunas, localización en áreas con escasa disponibilidad de agua), como antrópicas, derivadas del desgarre de ramas y troncos que realizan los turistas para construir cortavientos. Atendiendo a sus diferencias, se han considerado cuatro tipos diferentes: bosquetes en hoyas, poblaciones sobre dunas estabilizadas, poblaciones culminantes en dunas móviles y, por último, poblaciones culminantes en dunas terminales.

Con respecto a los bosquetes de *Tamarix canariensis* en hoyas, se diferencian por su perfecto estado de salud, gracias a la existencia de aguas subálveas a escasa profundidad. Se ubican en las hoyetas (espacios interdunares) del antiguo sistema de dunas móviles interiores, hoy estabilizadas, siendo especialmente densas las comunidades de la Charca de Los Camellos y las presentes entre los Altos de la Tabaibilla y la terraza sedimentaria baja (figura III.34). En estas hondonadas podemos observar ejemplares de más de 10 m de altura, y con una vigorosidad y vitalidad espléndidas. Estas comunidades se han beneficiado de la estabilización de las arenas, dado que el tránsito sedimentario, en el pasado, limitaba su crecimiento.



Figura III.34. Bosquetes de *Tamarix canariensis* en hoyas

Por lo que respecta a las **poblaciones de *Tamarix canariensis* sobre dunas estabilizadas**, se trata de viejos ejemplares, con abundantes raíces exhumadas en torno a un montículo arenoso, que se levanta unos cuantos metros sobre la base del sistema dunar (figura III.35). Estas poblaciones se desarrollan en la parte interior del sistema, donde las arenas se han estabilizado, y únicamente se observa un movimiento residual de sedimentos, exportados desde el sistema de dunas móviles. Estos ejemplares son, sin duda alguna, los más antiguos del sistema dunar, y forman densas masas de raíces que culminan en lo alto de una duna fija, como sucede en el Alto de la Tabaibilla. Algunos de ellos han podido ser observados en los fotogramas aéreos de los años 60 en su estadio juvenil.



Figura III.35. Tronco de un ejemplar de *Tamarix canariensis* sobre dunas estabilizadas

Presentan una estructura radicular muy intrincada y heteromorfa, y con un aspecto de gran senectud. Los más cercanos al sistema de dunas móviles muestran, además, una línea de aceleración del viento en su base. Aparecen abundantemente ramificados, por lo que es sencillo diferenciarlos de los ejemplares de reciente colonización (que suelen aparecer con troncos únicos y erectos, y bien conformados como árboles). En torno suyo se

produce una abundante capa de materia orgánica. En este humus se desarrollan vigorosos ejemplares de plantas acompañantes, entre las que destaca *Launaea arborescens*, que se presenta como una trama intersticial. Del mismo modo aparecen las “praderas” terofíticas estacionales, con *Ononis serrata* y *Neurada procumbens* como especies más conspicuas, teniendo a *Cyperus kalli* como otro elemento dominante.

Las poblaciones de *Tamarix canariensis* culminantes en dunas móviles se encuentran en el borde del sistema de dunas móviles, donde aún la dinámica sedimentaria es activa. En este ambiente se distingue un grupo de ejemplares de *Tamarix canariensis*, sin acompañamiento florístico, profundamente enraizados sobre la plataforma arenosa, continuamente humedecida por las aguas subálveas salinas.

Estos ejemplares colonizadores sobreviven al tránsito de dunas a su través, creciendo rápidamente para alcanzar la cresta. Se establece, así, una “lucha” de la que, en las últimas décadas, parecen salir victoriosos, dada la escasez de sedimento arenoso en tránsito. En la medida que el sistema se vaya estabilizando, ganarán la batalla contra el viento y la arena, ocupando nuevos espacios. Representan el estadio anterior a la comunidad anteriormente descrita, de viejos ejemplares que consiguieron fijar la arena.

Por último, las **poblaciones de *Tamarix canariensis* culminantes en dunas terminales** se localizan sobre la parte más afectada del sistema dunar por los procesos de deflación, es decir, las llanuras salitrosas del interior del sistema. En ellas, la pérdida de arena y el consiguiente aumento de sales disponibles, previsiblemente procedentes de la disolución de las calcarenitas, han ido mermando la vitalidad de los tarajales de este sector, encontrándonos con la mayoría de ellos muertos o con aspecto muy decrepito. El ejemplo más significativo lo constituye el enclave denominado Hoya Quemada, donde se ha producido la muerte de un bosque de tarajales.

- "**Praderas**" terofíticas de *Cyperus kalli*, *Ononis serrata* y *Neurada procumbens*. Localizadas fundamentalmente en las dunas estabilizadas, esta asociación forma una comunidad abierta, con dos facies: una estacional, caracterizada por terófitos donde predomina *Ononis serrata*, pero que en años lluviosos puede verse enriquecida por *Eragrostis barrelieri*, *Schimus barbatus*, *Mayretis microsperma* y *Lobularia lybica*; y otra permanente, con dominio de ciertos geófitos clonales especializados, como *Cyperus kalli* (figura III.36). A ellas se suma una especie anual introducida, la pata de camello (*Neurada procumbens*), cuya dispersión por el sistema es favorecida por el tránsito de visitantes.



Figura III.36. "Praderas" terofíticas de *Cyperus kalli*, *Ononis serrata* y *Neurada procumbens*

En años demasiado secos, esta comunidad es poco apreciable, llegando casi a desaparecer en verano y otoño. Las zonas de dunas sobre las que se asientan tienen un alto contenido en materia orgánica, aportada por la descomposición estacional del material vegetal.

En algunos enclaves de estas praderas, próximos al cauce del barranco de Maspalomas, y ocupando los materiales aluviales de un antiguo cauce, aparecen ejemplares de *Launaea arborescens* y *Plocama pendula*. Siguen un peculiar patrón espacial: las aulagas aparecen colonizando las antiguas áreas interdunares, mientras que los balos se sitúan alineados, ocupando las crestas de las dunas fijas.

- **Matorral de *Plocama pendula***. Hemos querido caracterizar esta unidad por la singularidad de su origen. Debió corresponder a la colonización de un fondo de barranco, afluente del de Maspalomas. De esta comunidad pretérita, tan sólo quedan, dentro del sistema de dunas, alineamientos de ejemplares *Plocama pendula* (figura III.37), que hemos considerado bioindicadores de canales que posteriormente fueron cubiertos por las dunas.



Figura III.37. Ejemplares alineados de *Plocama pendula*

En esta unidad se localiza una población de viejos individuos estabilizados de *Plocama pendula*, perfectamente asociada a un nivel de materiales aluviales con presencia de cantos y arcillas, elevados sobre el resto de arenas del entorno (figura III.38).

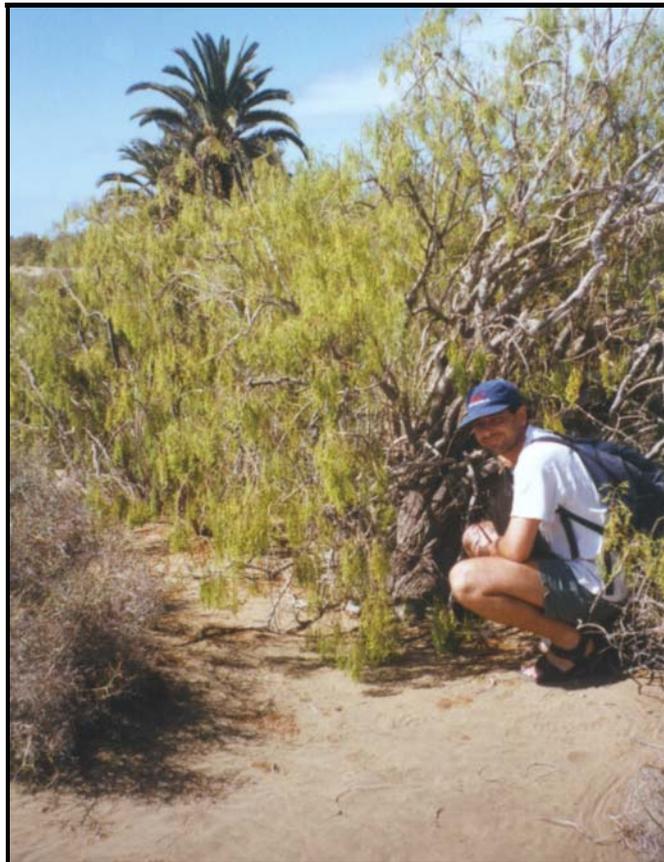


Figura III.38. Ejemplar viejo de *Plocama pendula* (izquierda)

- **Comunidades helofíticas.** Se localizan en el contacto entre el sistema dunar y el actual cauce del barranco, así como en antiguas áreas, quizás encharcadas en otros períodos históricos. Presentan un excelente grado de salud vegetativa, donde alternan fragmentos de comunidades con especies helófitas de tamaño medio, como carrizos (*Phragmites australis*), aneas (*Thypha domingensis*) y cañas (*Arundo donax*), así como otras especies hidrófitas: *Juncus acutus* y *Juncus maritimus* (tabla III.5).

Este tipo de vegetación está directamente asociado a zonas encharcadas de un modo permanente, como sucede en los bordes de la Charca de Maspalomas, con aguas dulces o salobres, o zonas con suelos encharcados gran parte del año. La presencia de aguas, en estas últimas, es fluctuante, según las oscilaciones del nivel freático, como ocurre en las cercanías del lugar donde se ubica el safari de dromedarios, y en la Hoya de las Aulagas, en el interior del sistema dunar, donde la presencia de agua a escasos 80 cm posibilita el crecimiento, con gran vitalidad, de especies de estas exigencias ecológicas, como *Thypha dominguensis*.

Taxones / Inventarios	Charca de Los Camellos	Hoyeta de Las Palmeras
<i>Phragmites australis</i>	3.3.	....
Arundo donax	2.2	....
<i>Tamarix canariensis</i>	2.2.	1.1
<i>Thypha dominguensis</i>	1.1	++.
<i>Schizogyne glaberrima</i>	1.1.	++.
<i>Cynodon dactylon</i>	1.1	++.
<i>Juncus acutus</i>	.....	5.5
<i>Launaea arborescens</i>	.....	1.1
<i>Phoenix canariensis</i>	++.	++.
<i>Nicotiana glauca</i>	++.	....
<i>Ricinus communis</i>	++.	....

Tabla III.5. Inventarios de comunidades helofíticas

- **Comunidades ruderal-nitrófilas.** En las áreas más alteradas del área de estudio, cercanas a las vías asfaltadas, así como en entornos degradados, como las antiguas parcelas donde se ubicaban el Hotel Dunas y el Centro Helioterápico, se desarrollan comunidades ruderal-nitrofilas, incluibles dentro de las asociaciones *Chenopodio-Malvetum parviflorae* y *Mesembryanthemo-Betetum*, caracterizadas por la abundancia de especies como *Malva parviflora*, *Chenopodium muralis*, *Volutaria lippii*, *Mesembryanthemum nodiflorum* y *Mesembryanthemum crystallinum* (figura III.39).

Así mismo, algunas de las actuaciones de conservación ejecutadas en cumplimiento del Plan Director de la Reserva, como el levantamiento del asfaltado de la pista de acceso al Centro Helioterápico, están favoreciendo la recolonización, por especies ruderal-nitrófilas, del material aluvial removido (tabla III.6).



Figura III.39. Comunidad ruderal-nitrófila

Taxones /Inventarios	Antigua pista de acceso al Centro Helioterápico	Material removido de la estación de los camellos
<i>Patellaria patellifolia</i>	3.3.	....
<i>Mesembryanthemum nodiflorum</i>	....	3.3
<i>Aizoon canariense</i>	2.2	2.2
<i>Mesembryanthemum crystallinum</i>	2.2.	1.1.
<i>Schyzogyne glaberrima</i>	++	2.2.
<i>Nicotiana glauca</i>	1.1	++
<i>Launaea arborescens</i>	++	+1
<i>Cenchrus ciliaris</i>	++	1.1
<i>Fagonia cretica</i>	....	1.1
<i>Forskalea angustifolia</i>	1.1.	....
<i>Datura stramonium</i>	++	....
<i>Volutaria lippii</i>	++	....

Tabla III.6. Inventarios de comunidades ruderal-nitrófilas

- **Ejemplares de *Phoenix canariensis*.** Dada la significación que tiene esta especie en Maspalomas, hemos inventariado todos aquellos ejemplares que se desarrollan en el campo dunar. Identifican las zonas más húmedas del sistema, dado que sus raíces, previsiblemente, se encuentran en contacto con el nivel freático subálveo.

Hemos observado preferentemente *Phoenix canariensis*, aunque también se localizan ejemplares de *Phoenix dactylifera*, así como algún que otro de *Washingtonia philifera*, intentado colonizar este espacio.

- **Ejemplares de jardinería.** Sobre sustrato preferente de material aluvial, con abundantes carbonatos y con arenas superficiales, especialmente en la Terraza del Inglés, observamos abundantes ejemplares de jardinería, tanto arbóreos como arbustivos. *Atriplex halimus*, *Myoporum lactum*, *Schinus terebenthifolius*, *Phoenix canariensis*, *Phoenix dactylifera* y *Opuntia dillenii* son las especies ornamentales más frecuentes.

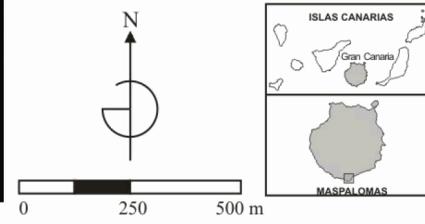
En medio de las especies citadas, se dispersan otras neocolonizadoras, como *Launaea arborescens*, *Mesembryanthemum crystallinum*, *Patellaria patellifolia*, *Malva parviflora* o *Cenchrus ciliaris*. En algunos lugares del sistema, el tránsito de los turistas es tan continuo que impide incluso el establecimiento de la vegetación más agresiva del sistema dunar. Es el caso de las áreas de entrada a las dunas, donde los residuos tapizan el suelo arenoso, continuamente removido. De igual forma, allí donde un poste o una piedra permiten a los turistas limpiar sus zapatillas, se acumulan semillas de la pata de camello (*Neurada procumbens*) o de *Ononis serrata*, que consiguen enraizar.

- **Ausencia de vegetación.** Todo el sistema de dunas móviles, desde la Playa del Inglés, hasta su final de recorrido en el entorno de la Charca, presenta una notable ausencia de vegetación, dada la intensa movilidad de las arenas, que impiden su desarrollo. En estos ambientes, tan sólo las hoyetas interdunares consiguen cobijar algún tipo de vida vegetal.

443.000

Leyenda

- 1 Matorral halonitrófilo de *Traganum moquinii*
- 2 "Céspedes" de *Cyperus laevigatus*
- 3 Población de *Zygophyllum fontanesii*
- 4 Matorral con *Juncus acutus*, *Schizogyne glaberrima* y *Launaea arborescens*
- 5 Matorral de *Suaeda vermiculata*
- 6 Matorral de *Launaea arborescens* en espacios interdunares en dunas móviles
- 7 Matorral de *Launaea arborescens* en espacios interdunares de dunas fijas
- 8 "Praderas" terofíticas con *Cyperus kalli*, *Ononis serrata* y *Neurada procumbens*
- 9 Bosquetes de *Tamarix canariensis* en hoyas
- 10 Poblaciones de *Tamarix canariensis* sobre dunas estabilizadas
- 11 Poblaciones de *Tamarix canariensis* culminantes en dunas móviles
- 12 Poblaciones de *Tamarix canariensis* culminantes en dunas terminales
- 13 Matorral de *Plocama pendula*
- 14 Comunidades helofíticas
- 15 Comunidades ruderal-nitrófilas
- 16 Ejemplares de *Phoenix canariensis*
- 17 Ejemplares de jardinería
- 18 Ausencia de vegetación



3.3. Reconstrucción paleogeográfica: una primera aproximación

Siguiendo los elementos analizados, y a falta de dataciones absolutas que permitan determinar exactamente la historia geológica de este sistema, podemos realizar una primera aproximación a su evolución reciente. Este trabajo de reconstrucción se realiza considerando las geoformas, las características de los materiales geológicos aflorantes y los sedimentos eólicos, la distribución de la vegetación, así como datos históricos que sirven de elementos de apoyo. A pesar de que este aspecto no forma parte de los objetivos de esta investigación, permite definir el marco geográfico del momento fijado como su punto de arranque, a principios de los años 60.

Atendiendo a los datos procedentes de otros autores, podemos definir una primera etapa, muy amplia, en la que se formaría el “Paleosistema”. En ella tienen lugar los procesos geológicos y geomorfológicos claves, que darán el carácter sedimentario a este sector de la isla. Esta etapa comprendería la formación de la isla, la apertura del barranco de Fataga, y la configuración de las tres terrazas sedimentarias que se localizan en el área de estudio. Éstas han sido datadas en el Pleistoceno Inferior (la terraza del Inglés), en el Pleistoceno Superior (la terraza sobre la que se asientan las urbanizaciones del Campo Internacional y el campo de golf), y en el Holoceno (los depósitos ubicados al norte del faro de Maspalomas) (Nadal y Guitián, 1983). Las diferencias entre ellas están relacionadas con sucesivas rupturas del equilibrio del barranco, como consecuencia de cambios eustáticos del nivel del mar, así como con la alternancia de diferentes regímenes hidrográficos (Guitián *et al.*, 1983).

En la zona de estudio se han identificado dos niveles marinos transgresivos (ITGE, 1990); el más antiguo, de unos 100.000 años, corresponde a la denominada “rasa” Jandiense. En la bibliografía sitúan esta trasgresión a edades comprendidas entre 110.000 y 130.000 años antes del presente, y también se la denomina “Último Interglaciario” o estadio isotópico “MIS 5e” (Imbrie *et al.*, 1984). La otra es la denominada “rasa” Erbarese, de

entre 2.000 y 4.000 años (corresponde con la trasgresión Flandriense que comenzó a los 10.000 años, o al denominado “Interglaciario Presente” o estadio isotópico “MIS 1”). El nivel de “rasa” Jandiense aflora en la zona intermareal actual, entre el faro de Maspalomas y el kiosco de la Cruz Roja de esta misma playa (aunque no aparece siempre, pues suele estar cubierto por las sedimentos intermareales actuales). Este depósito sedimentario está caracterizado en la base por facies arenosas cementadas con abundantes algas y conchas, y a techo por facies conglomeráticas, conteniendo ambas rocas abundantes gasterópodos del género *Strombus bubonius*, perteneciente a la denominada “fauna senegalesa”, que vive actualmente en zonas subtropicales del Golfo de Guinea, con aguas templadas. Por todo ello, el ITGE (1990) supone que el nivel del mar en el Pleistoceno Superior estaría entre 5 y 6 metros por encima de la bajamar actual, siendo las aguas más cálidas que las actuales. Por otra parte, estudios estratigráficos recientes, llevados a cabo en depósitos similares de las islas de Lanzarote y Fuerteventura, sitúan el nivel del mar del Último Interglaciario entre 1 y 2 metros por encima del nivel del mar actual (Zazo *et al.*, en prensa), mientras que los depósitos situados en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria permiten ubicarlo entre 10 y 12 metros (Meco *et al.*, en prensa). Todos estos autores apuntan que estas diferencias de altitud son debidas a posibles basculamientos de las islas (movimientos isostáticos) o a saltos locales debidos a fallas (movimientos tectónicos).

Es lógico pensar que durante la regresión marina, comprendida entre el Último Interglaciario y el Presente Interglaciario (entre 110.000 y 15.000 años), se pudieron haber formado campos de dunas en zonas costeras, al movilizarse y re TRABAJARSE los sedimentos marinos que quedaron en condiciones subaéreas. Más tarde, durante la trasgresión del Presente Interglaciario (con edades señaladas en la bibliografía de menos de 15.000 años, y con tres máximos de nivel del mar a 5.500, 3.500 y 2.000 años antes del presente) se pudieron formar depósitos marinos transgresivos carbonatados en áreas litorales. Por ejemplo, algunos de estos depósitos transgresivos, en las Islas Canarias orientales, se han citado a 3 metros por encima de la bajamar actual (ITGE, 1990), o a 0,5 m (Zazo *et al.*, en

prensa), y contienen fauna y flora marina idéntica a la actual. Dentro del campo dunar de Maspalomas, el ITGE (1990) ha definido la “rasa” marina Erbanense (facies de playa), generada en alguno de los períodos transgresivos del Presente Interglaciario y, hoy día, casi cubierta por las dunas actuales.

Como primera aproximación, podemos suponer que las muestras de packstones G1a y G1b, estudiadas dentro del campo de dunas de Maspalomas, serían equivalentes a los depósitos transgresivos citados para las Canarias orientales, a 3 metros por encima de la bajamar actual (ITGE, 1990). Así, estas rocas se habrían generado en alguno de los períodos transgresivos, donde se produciría la compactación carbonatada de esparita y micrita de sedimentos marinos sueltos, los cuales contenían abundantes terrígenos de fragmentos de rocas y minerales, junto con mallas de algas rojas, y escasos foraminíferos, moluscos y briozoos (tabla III.1), en condiciones litorales de poca profundidad (playa sumergida o laguna interior). No obstante, los afloramientos no presentan ninguna estructura sedimentaria que pudiera confirmar estas hipótesis genéticas, y sería necesario llevar a cabo análisis detallados geocronológicos (dataciones por C^{14} , series de U, medidas de allo-isolucina, ...), geoquímicos (isótopos estables) y paleontológicos, entre otros.

Atendiendo a su distribución espacial, y a su relación con el resto de los materiales geológicos aflorantes, es necesario recordar que el depósito de calcarenitas se localiza en el interior del sistema dunar. Su sector oriental se encuentra en un enclave deprimido con respecto a uno de los sectores descritos de la terraza aluvial, el cuál se localiza a 2,5 metros por encima de la línea de costa actual, y se eleva al menos 1,5 metros sobre del citado depósito. Este sector de terraza presenta, en su talud sur, restos fosilizados de caparzones marinos, y corresponde con la “rasa” marina Erbanense (facies de playa) citada por el ITGE (1990).

Atendiendo a estos términos, podemos deducir que las calcarenitas pudieron formarse en un ambiente caracterizado por la existencia de una laguna costera, que estaría protegida del mar abierto por la existencia de este sector de la terraza, que funcionaría a modo de berma. Al tiempo, la terraza del Inglés, más alta, pudo proteger el flanco oriental de la laguna de la erosión mareal (figura III.40). Entendemos que no cabe la posibilidad de que este sector oriental de la terraza “baja” se formara posteriormente a las calcarenitas, dado que, de ser así, éstas habrían quedado cubiertas por los materiales aluviales. Por otra parte, la presencia de micrita en las muestras, puede ser indicativa de un contacto directo con los materiales aluviales que conformaban esta terraza.



Figura III.40. Detalle del sector oriental de la terraza baja y del depósito de calcarenitas (ver mapa relativo al marco geológico-geomorfológico)

Por tanto, cabe suponer que ese sector de la terraza se correspondería con los depósitos aluviales litorales, y el nivel marino que se formaron en alguna transgresión del Presente Interglaciario (<15.000 años), al que seguiría un período con escasas precipitaciones, o un desvío del canal principal del barranco hacia el oeste, dado que los depósitos de

calcarenitas, en este sector, no fueron cubiertos por nuevos aportes aluviales. Durante los períodos de retirada del nivel de mar, estas rocas carbonatadas estarían ciertos períodos de tiempo en condiciones subaéreas, produciéndose en ellas meteorizaciones con fenómenos de disolución, que hoy día se pueden observar en el afloramiento de las rocas estudiadas.

Por otro lado, James (1997) ha definido varias provincias sedimentarias carbonatadas (Tropical, Subtropical, Templada, Subpolar y Polar), en función de las características de la cuenca de sedimentación, los componentes deposicionales carbonatados y la temperatura del agua del mar. Para este autor, la provincia “Templada” estaría caracterizada por: ambientes de plataformas abiertas, fondos alomados de pendientes suaves, sin arrecifes coralinos, con cementación baja, poca micrita, alta bioturbación y maceración, y cementos carbonatados de calcita (carbonato cálcico hexagonal); los sedimentos tendrían abundantes foraminíferos, moluscos o briozoos, en menor proporción algas rojas y otros heterozoan (organismos marinos); y la temperatura del agua sería fría, entre unos 10° C a 18° C.

Por su parte, la provincia “Subtropical” estaría simbolizada por: plataformas abiertas y rampas, algunos arrecifes coralinos (photozoan), cementación marina, poca micrita, bioturbación, y cementos con calcita y aragonito; abundantes algas rojas, algunos corales y algas verdes, y otros heterozoan; y la temperatura del agua de mar entre 18 y 22° C.

Teniendo presentes estos factores, nuestras muestras carbonatadas G1a y G1b (conteniendo abundantes terrígenos, mallas de algas y cemento carbonatado micrítico y esparítico, y escasos foraminíferos, moluscos y briozoos) no se identifican completamente con ninguna de ellas, pues tienen características sedimentarias de las dos provincias, aunque también les sobran algunas otras. Así, por ejemplo, nuestras rocas son ricas en fragmentos de mallas de algas rojas, típicas de la provincia Subtropical pero, sin embargo, no presenta restos de corales (ni hay descritos arrecifes de coral en nuestra zona de estudio durante el Cuaternario) ni de algas verdes, características de esta provincia. Por

consiguiente, podemos concluir que las muestras G1a y G1b se habrían formado en un ambiente sedimentario intermedio entre la provincia Templada y Subtropical.

Volviendo a la distribución de los materiales geológicos aflorantes en el sistema, se hace necesario recordar, nuevamente, que el depósito de calcarenitas, en el tramo medio del campo dunar, se presenta cubierto por los materiales propios del segundo sector de la terraza aluvial (figura III.41). Por ello, es de suponer que ésta es posterior al depósito, aunque también que debió existir un largo período de tiempo desde que se formaron las calcarenitas, hasta que el barranco volvió a iniciar su actividad sedimentaria, al menos en este sector. Por lo tanto, atendiendo a la disposición de los depósitos de calcarenitas y los tramos orientales de la terraza aluvial, se puede deducir una migración hacia el oeste de la actividad sedimentaria del barranco, con un largo período intermedio de inactividad, en el que dominaba una laguna costera.

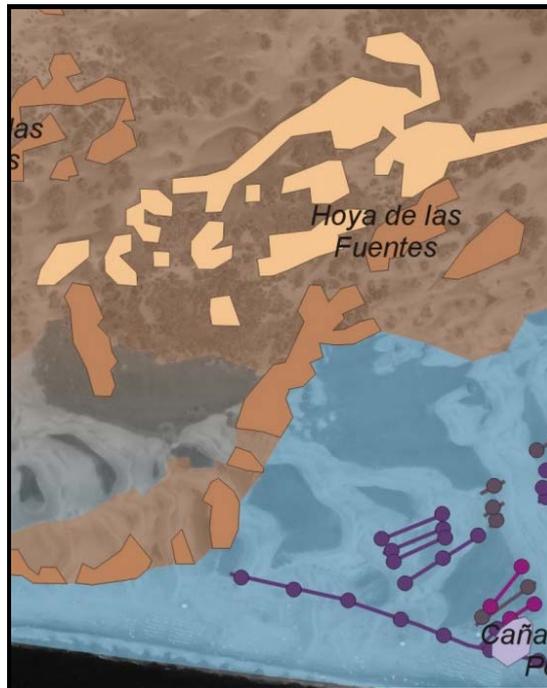


Figura III.41 Detalle del tramo medio de la terraza baja y del depósito de calcarenitas (ver mapa relativo al marco geológico-geomorfológico)

Con relación a la muestra G2, recordaremos que es una calcarenita de grano medio, con abundantes partículas de terrígenos, mallas de algas y fauna marina, con granos redondeados y bien clasificados, con poco cemento esparítico, sin micrita, y definida como grainstone. Si, junto con estas características texturales, consideramos el ambiente dunar actual de Maspalomas, podemos suponer que se trata de un depósito de “eolianitas”.

Las eolianitas fueron definidas por primera vez como sedimentos depositados por el viento y más tarde litificados (Sayles, 1931). Posteriormente, se han definido también como rocas dunares cementadas por carbonato cálcico y depositadas en ambientes costeros durante el Cuaternario (Frairbridge y Johnson, 1978) o, simplemente, como una calcarenita dunar. Estas rocas tienen gran valor paleoambiental, pues indican producción de carbonatos marinos someros, movimientos eustáticos y volumen de sedimentos liberados de la playa y, subsecuentemente, retrabajados en ambiente dunar. Según la revisión llevada a cabo por Brooke (2001) sobre depósitos de eolianitas a nivel mundial, están asociados generalmente a los períodos interglaciares Pleistocenos del último millón de años y, en menor medida, a períodos glaciares. La distribución y composición bioclástica de estos depósitos sugiere una alta producción de carbonato en plataformas o fondos litorales someros; los carbonatos se forman, predominantemente, en provincias sedimentarias subtropicales y templadas; y, por último, los movimientos eustáticos cíclicos del Cuaternario condicionan la forma, la escala y la estratigrafía de las eolianitas.

Por todo lo anterior y, teniendo en cuenta las características texturales de la muestra G2, suponemos que también se pudo originar cuando parte de los depósitos eólicos existentes en Maspalomas, en el Holoceno, quedaron sumergidos en fases transgresivas. En estos períodos de invasión del agua del mar, los sedimentos sueltos de esa zona se retrabajarían por los agentes marinos, y se alcanzarían las condiciones físico-químicas adecuadas para generar una ligera cementación carbonatada esparítica de los distintos granos, similar a la que observamos en el depósito de la muestra G2. Otra posibilidad, cuya base será

presentada a continuación, estaría relacionada con la existencia hasta fechas muy recientes, de una laguna costera, abierta al mar en las inmediaciones de estos depósitos, que hubiese permitido la formación de un ambiente mixto, en el que existirían, simultáneamente, dunas y aguas saladas (marinas) y dulces, estas últimas aportadas por un canal oriental del barranco de Maspalomas. No obstante, sería necesario confirmar estas hipótesis genéticas con otros estudios científicos de estos afloramientos (geocronología, paleontología, geoquímica, ...).

Para justificar la segunda hipótesis señalada para la formación de las eolianitas, se hace necesario partir del momento en que se produce la retirada del mar, tras su último ascenso (2.000 años) en el Presente Interglaciario. A este período se corresponden las barras de callaos que se localizan en el interior del sistema y, así mismo, se inicia la formación del campo de dunas actual. Cabe suponer, además, que se mantendrían los procesos aluviales, al tiempo que la pervivencia de aprovechamientos humanos. Por último, los datos analizados y algunas fuentes consultadas, parecen indicar la existencia de una laguna litoral dentro del sistema dunar actual, entre las hoyas de las Aulagas y de las Fuentes. De este modo se puede definir que, hasta hace muy escaso tiempo, en el interior de este espacio convivían procesos eólicos, aluviales y lacustres.

En relación con el actual campo dunar, y desde el punto de vista genético, podemos suponer que las dunas de Maspalomas se habrían generado en el Holoceno y, especialmente, en los períodos regresivos del Presente Interglaciario (regresiones citadas en la bibliografía a nivel mundial entre 4.000 y 5.000 años antes del presente, y entre 3.000 y 2.000 años antes del presente). De esta manera, parte de los sedimentos litorales someros (aloquímicos, terrígenos y ortoquímicos) quedarían en condiciones subaéreas y, con un régimen de viento continuo y un clima semiárido, éstos podrían transportarse, dando lugar a las acumulaciones de dunas que observamos hoy en día en Maspalomas. De ser así cabe suponer que los períodos consecutivos, de ascensos y descensos del nivel del mar, habrían posibilitado la generación de diversos sistemas dunares, que se superpondrían. El actual

campo de dunas se habría formado después del último período transgresivo (menos de 2.000 años antes de la actualidad) y simplemente por la acción de los agentes sedimentarios litorales. Así, los sedimentos detríticos alcanzan las zonas intermareales de la playa por la acción del oleaje, mareas y corrientes, y estas partículas son removilizadas por un régimen de viento continuo hacia zonas interiores, dando lugar, con el tiempo, a los depósitos sedimentarios dunares actuales.

Por lo que se refiere a las eolianitas, éstas podrían ser producto de la presencia de aguas, en una laguna abierta, que posiblemente funcionó hasta bien desarrollado el período histórico, tal vez de forma esporádica. La estimación sobre la existencia de esta otra “charca”, semejante a la existente, aunque ubicada en el interior del actual campo de dunas, se sustenta en dos razones: la primera, la existencia, hasta períodos históricos muy recientes, de un canal del barranco de Maspalomas, que debía desembocar en las inmediaciones de la Hoya de Las Fuentes, aunque sólo cuando se produjesen fuertes crecidas. La segunda, la presencia de determinadas especies vegetales.

En relación con la existencia del canal señalado, previsiblemente, el tramo N-S de los materiales que configuran la terraza baja aluvial, conforman el sistema de drenaje, hoy desaparecido, de una antigua laguna litoral, semejante a la actual, que se situaba en el interior de lo que hoy conocemos como sistema de dunas móviles (figura III.42). La constancia histórica de su existencia no deja lugar a dudas al observar los fotogramas de finales de los años cincuenta y principios de los sesenta del pasado siglo, en los que se detecta la realización de obras de desvío de los canales orientales del barranco de Maspalomas, a través de las cuales se procede a su traslado hacia el canal principal, el que alimentaba al actual sistema lacustre. Pero, además, en este punto, resultan especialmente útiles las referencias realizadas por algunos autores que visitaron el área, o que tuvieron constancia de la existencia de “las Charcas de Maspalomas” (Naranjo, 1999), así como un documento cartográfico digno de mención, elaborado por S. Berthelot (figura III.43), en el que se muestra la existencia de dos lagunas litorales, localizándose la actual al oeste.



Figura III.42 Detalle del tramo N-S de la terraza baja (ver mapa relativo al marco geológico-geomorfológico)

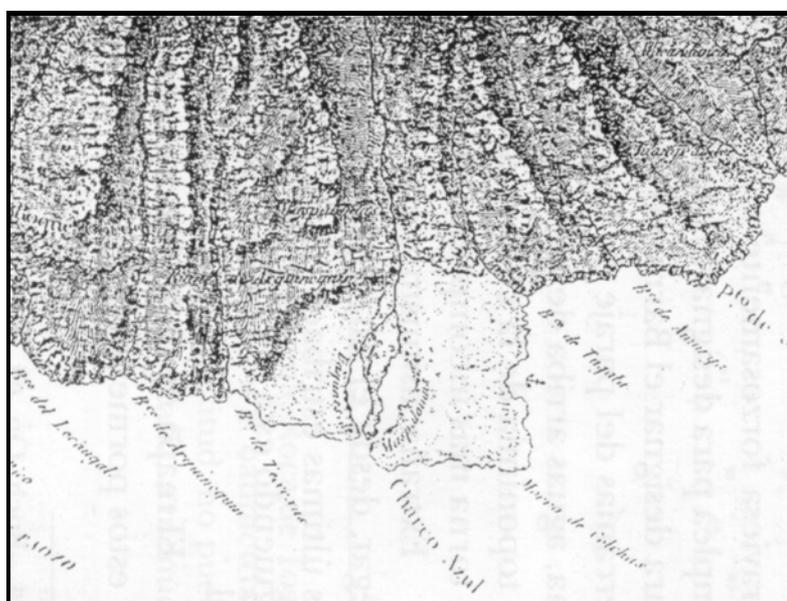


Figura III.43. El "Charco Azul" de Maspalomas, según S. Berthelot (1826)

Estos barrancos cruzarían el campo dunar en su tramo medio, localizándose su área de descarga en contacto con el mar, pero, así mismo, con las dunas litorales, bajo las cuáles se habrían formado las eolianitas. La ubicación de este canal queda recogida en el mapa histórico comentado con anterioridad, así como, más fielmente, en el plano elaborado, en los años sesenta del siglo XIX, por Juan de León y Castillo, incluido en el proyecto para la construcción del Faro de Maspalomas. En éste, a pesar de que se definen formas dunares para el tramo señalado, se ubica el barranco que desembocaba en este sector (figura III.44).

A pesar de que los dos ramales que alimentaban ambos sistemas lacustres (el actual y el desaparecido) pertenecen a un mismo sistema de drenaje, probablemente las dos lagunas litorales jamás estuvieron unidas al norte de lo que hoy conocemos como campo de dunas. El dato que nos permite realizar tal aseveración es la localización de un yacimiento arqueológico en la “isla”, pequeña elevación que sirve de divisoria entre ambos sistemas. Este yacimiento³ se localiza entre los altos del Amo y del Gato, geformas que aparecen cartografiadas en detalle en otro de los documentos realizados por Juan de León y Castillo, dentro del mencionado proyecto del faro (figura III.45).

³ El yacimiento responde al nombre de Dunas de Maspalomas y, para él, se cita que “(...) las únicas referencias que poseemos sobre la existencia de este yacimiento proceden de la información oral aportada por Don Antonio Betancor Rodríguez, miembro del SAMC, quien señala que en julio de 1989 localizó en la zona de las dunas de Maspalomas, próximo al campo de golf, un amontonamiento irregular de material arqueológico constituido por material lítico, malacológico y restos de ictiofauna, que identificó como un conchero. Este yacimiento no se localizó en las prospecciones de campo realizadas en 1993 en la zona, lo cual no implica su desaparición, ya que ha podido quedar oculto por la arena.” (Cuenca Sanabria, J. et al. (1997): *Carta arqueológica del término municipal de San Bartolomé de Tirajana*; El Museo Canario, LII, pp. 57-166).

En reconocimiento de campo realizado durante el transcurso de esta investigación, junto con la Dra. Amelia Rodríguez, se identificaron, además, restos cerámicos.

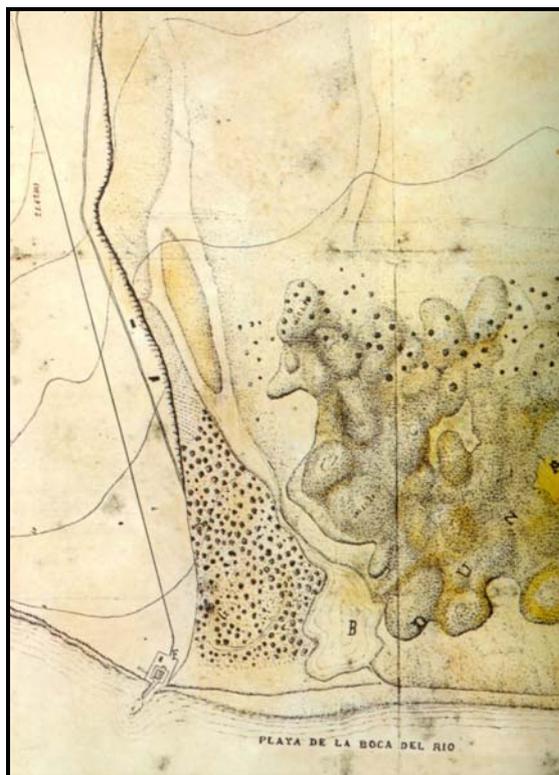


Figura III.44. Vista del plano general elaborado por Juan de León y Castillo (1862)

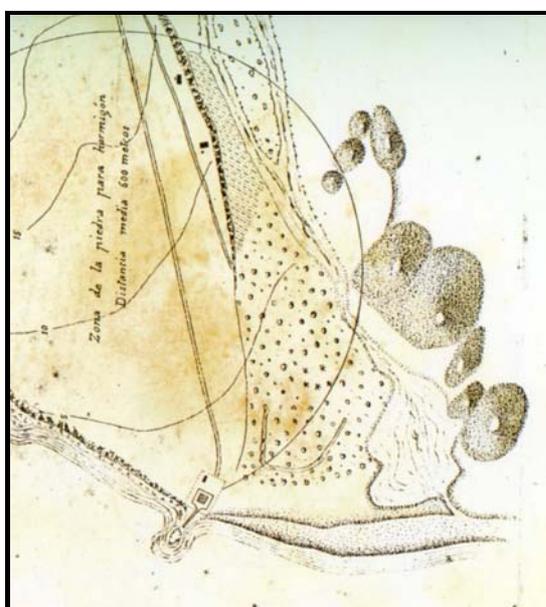


Figura III.45. Vista del plano de detalle elaborado por Juan de León y Castillo (1862)

La existencia de la segunda charca se puede corroborar atendiendo, además, a otro elemento analizado, la vegetación. Así, la distribución de la vegetación en el área de drenaje no deja lugar a dudas: se trata de ejemplares vegetales de *Plocama pendula*, que se presentan formando patrones de alineamiento semejantes a los que forman en los actuales cauces de los barrancos de la isla. En el área de descarga, donde se ubicaría la segunda charca, aparecen individuos de especies puramente helofíticas, como *Thypha domingensis*, lo que permite, así mismo, la identificación de una zona de encharcamiento actual, alimentada por agua subterránea.

La formación de zonas de encharcamiento en las desembocaduras de los barrancos insulares, es un hecho poco frecuente en la actualidad. Pero este panorama no era así en los años posteriores a la conquista de las islas. A este respecto, A. Santana (en prensa) escribe que: “... Sin embargo, antes del siglo XV la presencia de aguas superficiales era frecuente, pues muchos barrancos corrían permanentemente, los manantiales eran más abundantes y caudalosos que en la actualidad, y en casi todas las islas existían lagunas, charcas y humedales” (Santana, en prensa: 8-9). Para este autor, el cambio producido es debido a la intensa deforestación, así como a la sobreexplotación de los acuíferos insulares. En nuestro caso, habría que añadir, además, las infraestructuras (presas y embalses) destinadas a la captación de aguas de escorrentía en la cuenca de Fataga.

Volviendo al área de estudio, en la actualidad, el sector que ocupara esta laguna litoral, se caracteriza por ser un ámbito mixto, en el que, previsiblemente, confluyen aguas marinas y continentales. Este dominio se ha establecido atendiendo, en exclusiva, a la presencia de vegetación, así como a la variación en su comportamiento a lo largo del año. De este modo, las áreas con mayor altitud presentan especies adaptadas a condiciones de menor salinidad (*Plocama pendula*, *Launaea arborescens*), e inversamente ocurre con las áreas menos deprimidas y más cercanas a la costa, donde aparece *Cyperus laevigatus*. El punto intermedio en este equilibrio corresponde a un tramo que se sitúa desde los afloramientos

de eolianitas, al sur de la Hoya de las Aulagas, hasta unos centenares de metros hacia el Este, siguiendo el límite interior de una llanura de deflación, de reducidas dimensiones, que ha aparecido en los últimos años (la primera referencia que tenemos de la existencia de esta llanura data de 1998).

Dada la desaparición de los canales de alimentación, la posibilidad de que se pueda llegar a formar de nuevo el sistema lacustre interior, con aportes aluviales, es muy reducida, aunque no así la de que se produzcan encharcamientos por la entrada del agua del mar. A este respecto, el nivel de las arenas, en estos sectores, se ha reducido considerablemente en los últimos cuarenta años y, lo que es más importante, en la actualidad se está produciendo un intenso proceso de deflación eólica, por lo que los materiales vecinos a aquella antigua laguna afloran cada vez más.

CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ACTUAL II: VIENTO, GEOMORFOLOGÍA EÓLICA Y MODELO DE FUNCIONAMIENTO ENTRE FINALES DE LOS AÑOS 90 Y LA ACTUALIDAD

En este segundo capítulo dedicado a la caracterización del sistema en la actualidad, se presentan los resultados relacionados con la dinámica de los sedimentos, es decir, los datos relativos al viento y a la velocidad de desplazamiento de las dunas, la altura de la lámina de arena y, por último, las geoformas resultantes. Su interpretación, combinada con los resultados expuestos en el capítulo anterior, permiten, finalmente, caracterizar el modelo actual de funcionamiento del sistema dunar, que consideramos complementario al establecido por otros autores. En este sentido, los antecedentes sobre el estudio de los vientos, así como las geoformas y el modelo del funcionamiento del sistema, son presentados en cada uno de los títulos correspondientes.

4.1. Caracterización del viento

Uno de los factores claves en la interpretación del funcionamiento de un espacio dunar es el viento, pues la movilidad del sedimento depende de la dirección, velocidad y frecuencia del mismo. De igual forma, la interposición de cualquier elemento en el tránsito del flujo eólico, puede implicar serias modificaciones de este flujo y, por tanto, del propio sistema sedimentario. Por ello, se hace necesario abordar el estudio de este factor para poder comprender el funcionamiento de la dinámica sedimentaria eólica, así como las posibles alteraciones antrópicas generadas por la interposición de elementos humanos en esta dinámica.

4.1.1. Antecedentes

Varios han sido los trabajos que han procedido al estudio de este factor, con el fin de caracterizar la dinámica sedimentaria de este sistema. Esta caracterización ha estado notablemente condicionada, hasta fechas muy recientes, por la inexistencia de series

largas con datos de viento (Naranjo, 1999). Por ello, se han basado en los datos aportados por el Instituto Nacional de Meteorología para estaciones cercanas, contrastándolos con las claves que podían deducirse del estudio de las geoformas (Nadal y Guitián, 1983; Martínez, 1990). El análisis de las geoformas permite a estos autores señalar que en esta área los vientos dominantes son los del NE, es decir, los alisios; los reinantes tienen una procedencia E-SE, y los clasificados como significativos son del O-SO. En consecuencia, el desplazamiento principal de las dunas se realiza en la dirección NE-SO, mientras que los vientos de procedencia SO, cuando se dan con rachas intensas, invierten esta dirección dominante.

Igualmente, se ha procedido al estudio del viento a partir de la localización de sensores de velocidad y dirección en determinados puntos del sistema (Martínez, 1990). Precisamente, es a partir de los datos obtenidos por observación directa, cuando aparece la primera controversia: los registros muestran un dominio de los vientos del oeste, lo que sería contradictorio con la dirección que presentan las geoformas dunares. Sin embargo, la interpretación dada, intenta salvar este obstáculo, indicando que en el origen de este fenómeno se encuentran las brisas marinas (Martínez, 1990).

Por su parte, Naranjo (1999) utiliza datos suministrados por la estación automática, que el Instituto Nacional de Meteorología tiene instalada en el Hotel Faro de Maspalomas desde 1997. Sin embargo, la reducida extensión de la serie no le permite realizar análisis en profundidad (Naranjo, 1999), aunque sí indicar la estacionalidad de la frecuencia de los vientos y la variación diaria de las rachas máximas. De esta forma concluye que durante el otoño y el invierno la procedencia dominante es E-O, dirección que se invierte en primavera y verano. Por lo que respecta a las rachas máximas, especifica que se producen fundamentalmente entre el mediodía y las primeras horas de la tarde.

Desde nuestra investigación se plantea que si se considera la localización del área de estudio en el conjunto de la isla de Gran Canaria, y la forma que ésta presenta, la

dinámica de los vientos en el sector podría derivar bajo el dominio de los alisios, en la confluencia de dos direcciones. Éstas serían la del flujo que accede al sistema después de rodear la isla por su costa oriental, y la que lo hace desde el oeste, tras haber superado el “obstáculo” insular por su costa occidental. La característica esencial es que ambas direcciones se pueden presentar simultáneamente en el sistema y que, conforme adquiera mayor aceleración una de ellas, le afectará con diferente intensidad y frecuencia. Este efecto mecánico ha sido explicado por Triplet y Roche (1977), quienes establecen que un flujo eólico, al chocar con un obstáculo insular, se divide en dos, que circulan a ambos lados de la isla. La forma inicial del flujo se recupera una vez pasado el obstáculo.

El fenómeno en cuestión ha sido observado mediante trabajo de campo y, así mismo, contrastado con las informaciones aportadas por los trabajadores de distintos servicios de las playas (encargados de los kioscos, de las hamacas y policía local). Resulta especialmente evidente en la playa del Inglés, donde los vientos se caracterizan por presentar una notable variabilidad local en la línea de costa. Ésta determina una desigual distribución de la vegetación, así como de los equipamientos de playa. Así, en un recorrido por esta línea de costa, se percibe el incremento de la velocidad del viento desde el norte hacia el sur. Este hecho encuentra una clara respuesta en la fisonomía de los balcones presentes en esta playa, más achaparrados cuanto más próximos a la punta de la Bajeta. De igual manera, los equipamientos de hamacas y sombrillas se ubican principalmente al norte, dado que al sur se produce el constante azote del viento nominalmente dominante, muy superior, porcentualmente, al de componente oeste, al que localmente dan el nombre de “embate”. Pero, además, en este sector sur de la playa, se detecta la mayor presencia de vientos de componente E, frente a los predecibles de procedencia NE. Precisamente, esta característica fue explicada recientemente por Naranjo (1999), que recoge y adapta información de Martínez *et al.* (1996), al indicar que los alisios, de componente noreste, “soplan desde el este por la desviación que sufren a causa del relieve insular y las brisas marinas” (Naranjo, 1999, p. 151).

4.1.2. Rasgos generales del factor eólico

Tal y como se ha presentado en el capítulo relativo a la metodología, los datos de viento no pueden ser considerados definitivos, dado el escaso número de registros disponibles. Por ello, su análisis debe tomarse como indicativo y, en todo caso, provisional, a esperas de una profundización en el futuro, cuando se cuente con los datos suficientes como para validar o rechazar las afirmaciones que aquí se establecen. Su análisis comprende el estudio de las frecuencias de dirección (medias totales y mensuales), las velocidades medias (totales y mensuales) y las rachas máximas (velocidades máximas mensuales, distribución porcentual diaria y dirección dominante).

Por lo que respecta a la frecuencia de la dirección (figura IV.1), cabe destacar el escaso porcentaje que representan las calmas, que alcanzan un máximo del 10% en el mes de marzo, y un mínimo del 2%, en mayo. La frecuencia media anual de las calmas se encuentra en el 5%. En cuanto a la dirección de los vientos y, atendiendo a su variación mensual (figura IV.2), podemos afirmar que en este sector de la isla no existe un dominio claro de una sólo procedencia. Existe, pues, una distribución similar en la frecuencia de dos vientos diferentes, NE y O; ahora bien, considerando este último de forma genérica, es decir, sumando los registros del O y el SO. El del NE representa el 20% de las frecuencias, mientras los segundos se sitúan próximos, con una frecuencia máxima en el 17%. Realizando una lectura global, podemos afirmar que, si bien los vientos del NE tienen el mayor porcentaje, el sumatorio de las frecuencias de los octantes del O es superior. Los vientos del E, por su parte, sólo se presentan en el 10% de las ocasiones.

La variación en el predominio de la componente del viento se produce de modo paulatino a lo largo del año. Así, en febrero, las frecuencias del NE alcanzan su máximo, con un porcentaje muy cercano al 40%, mientras los vientos del O representan poco más del 10%. A partir del mes de marzo esta tendencia comienza a invertirse y, si bien siguen dominando los vientos del NE, con aproximadamente el 25% de las frecuencias, los del O incrementan notablemente su presencia. Los meses de abril y mayo representan

momentos de distribución similar entre ambos dominios eólicos, que se rompe a partir del mes de junio, cuando se produce la inversión de lo observado para el mes de marzo. Así, durante este mes, los vientos del O presentan más del 20% de las frecuencias, mientras que los del NE y los del E rondan el 10%. Esta tendencia se acentúa durante julio y agosto, pero en septiembre se vuelve a una situación muy semejante a la observada en abril. A partir de este mes, se incrementa de nuevo la frecuencia de los vientos del NE, en detrimento de los del O, que pierden protagonismo.

Esta variación a lo largo del año, ya ha sido expuesta por otros autores (Martínez, 1990; Naranjo, 1999), relacionándola con las variaciones sedimentarias que experimenta la línea de costa del sistema dunar. Así, durante el otoño y el invierno, la dirección dominante es NE, invirtiéndose en primavera y verano, con la llegada del “tiempo sur”. En ese momento se producen los procesos de erosión de la playa de Maspalomas, cuyos sedimentos se desplazan hacia la punta de la Bajeta, la cual experimenta un notable crecimiento hacia el E (Martínez *et al.*, 1989; Alonso *et al.*, 2001a y 2001b).

Considerando de modo agrupado las frecuencias en las direcciones de los vientos, tal y como se ha expuesto en párrafos precedentes, llegamos a la conclusión de que los vientos del O tienen mayor presencia que los del NE, incluso que los del E genérico, es decir, considerando el sumatorio de las frecuencias de los octantes relativos al E. Esta afirmación parece contradecir, parcialmente, el conocimiento que hasta ahora se tiene del funcionamiento de la dinámica sedimentaria eólica. Según esto, los vientos dominantes son los del NE, lo que implica que el desplazamiento de las dunas se realice, principalmente, siguiendo la dirección marcada por estos vientos, a lo que se ha denominado “el avance de las dunas”. Por contra, la dinámica sedimentaria, bajo un régimen eólico marcado por el dominio de los vientos complementarios, del SO, implica “el retroceso de las dunas” (Nadal y Guitián, 1983; Martínez, 1990).

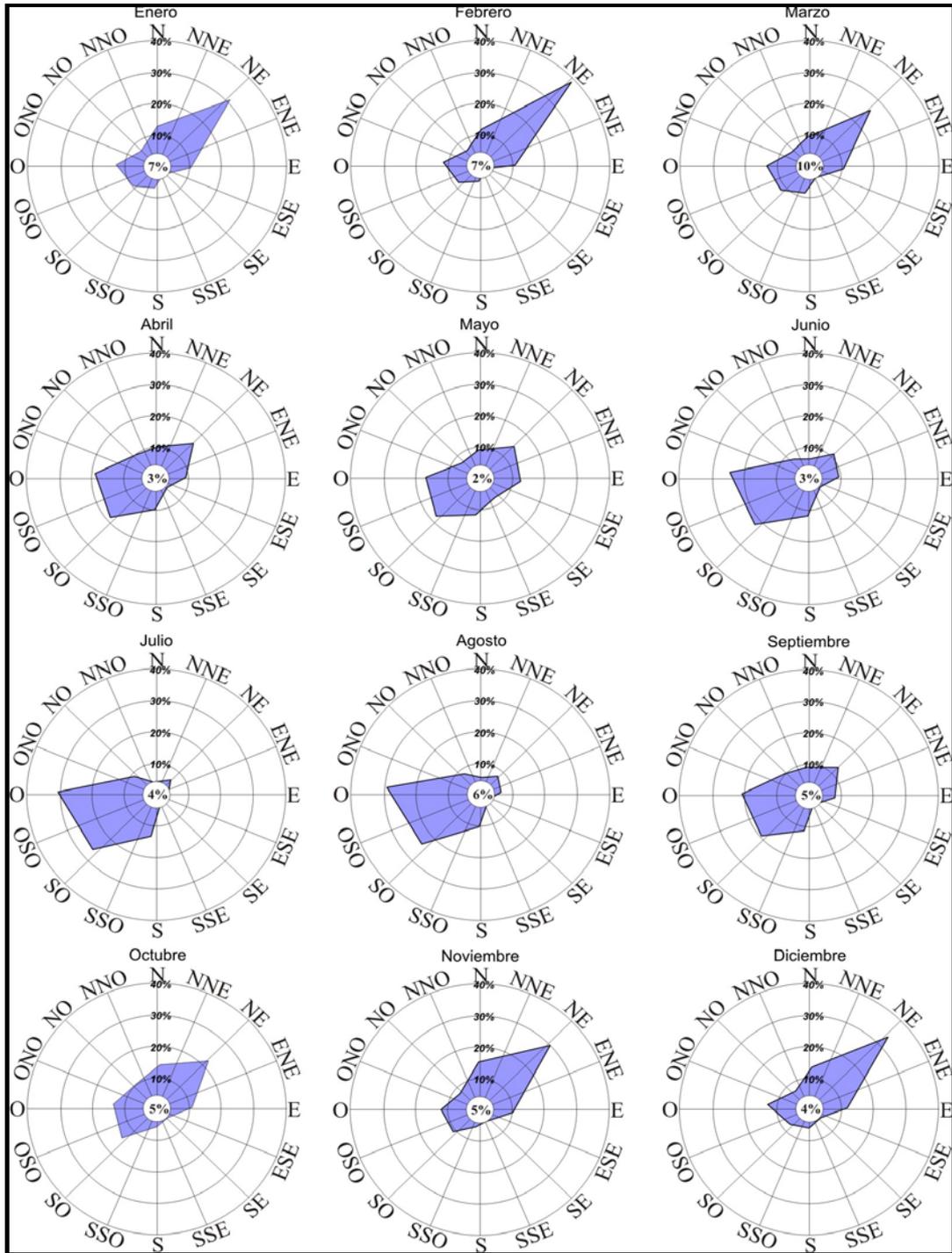


Figura IV.1. Frecuencias medias mensuales de la dirección de los vientos (Fuente: I.N.M.)

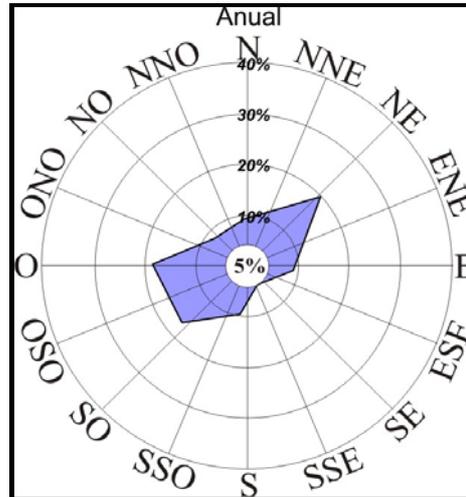


Figura IV.2. Frecuencias medias anuales
(Fuente: I.N.M.)

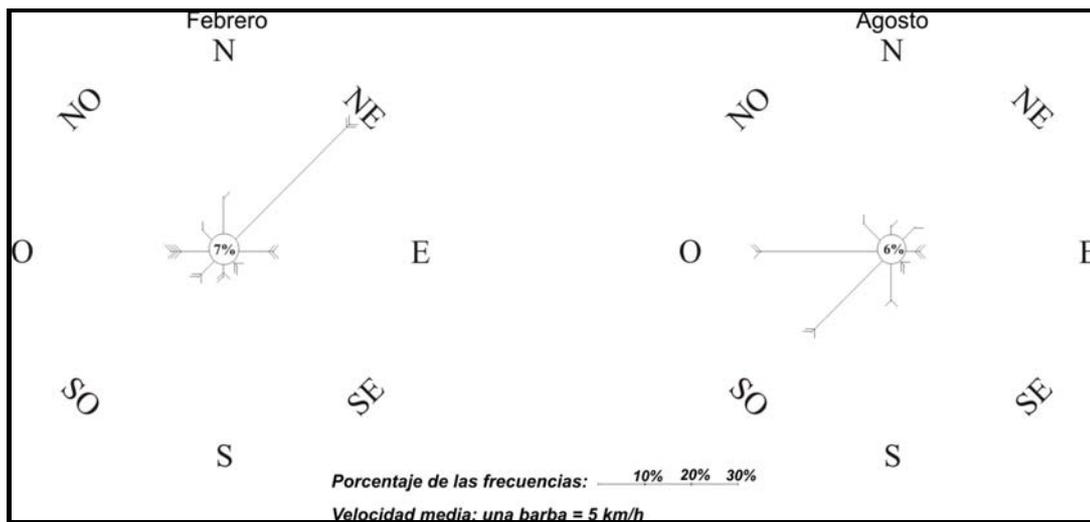


Figura IV.3. Porcentaje de las frecuencias y velocidades medias por octantes para los meses de febrero (izquierda) y agosto (derecha) (Fuente: I.N.M.)

La variación anual de la frecuencia de las direcciones comentadas parece confirmarse al observar el gráfico que representa el porcentaje de frecuencias anuales por octantes, conjuntamente con las velocidades medias, para los meses de febrero y agosto (figura IV.3), así como los valores medios anuales (figura IV.4). Sin embargo, de su interpretación también parece deducirse una paradoja: aparentemente, los vientos del O

presentan las mayores velocidades medias, en detrimento de los vientos de componente E genérico, aún cuando su frecuencia es menor, especialmente durante el mes de febrero. Entendemos, por ello, que atendiendo a estos datos, el avance de las dunas debería producirse en la dirección O-E, y no a la inversa.

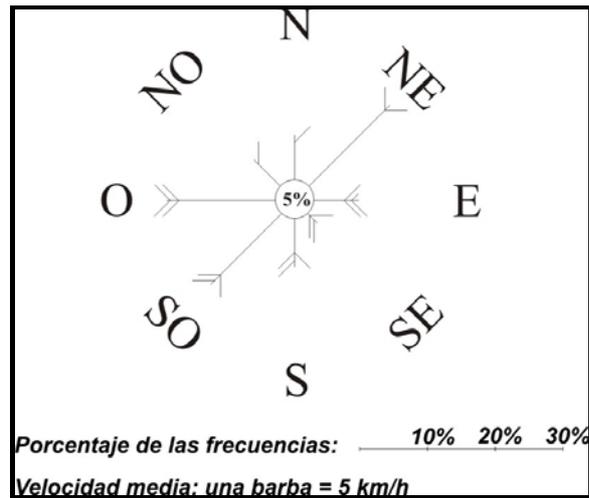


Figura IV.4. Media anual del porcentaje de las frecuencias y velocidades medias por octantes (Fuente: I.N.M.)

Para resolver esta aparente paradoja, tenemos que acudir a los datos relativos a las velocidades, de forma independiente a las frecuencias, y a las rachas máximas. Así, atendiendo a lo representado en el gráfico de la velocidad mensual media (figura IV.5), podemos observar que la mayor velocidad se registra entre finales del otoño y principios de la primavera, alcanzando su mayor tasa (17,2 km/h) en el mes de febrero. A partir de este pico, se produce un descenso paulatino de las velocidades medias, que terminan con el mínimo en agosto, de 10,31 km/h, momento en el que comienza de nuevo el aumento de la velocidad media.

De esta forma, quedaría explicado que, si bien existe un dominio genérico de los vientos del O, su influencia queda mitigada por su menor velocidad media en los meses que domina. Por el contrario, los vientos del NE presentan las mayores velocidades medias, de ahí su notable incidencia.

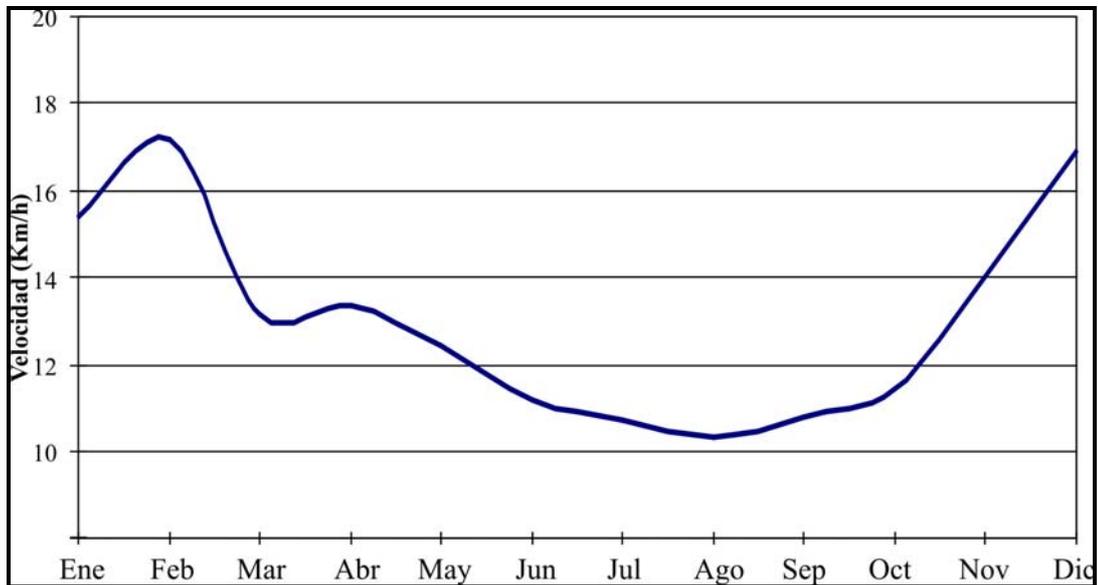


Figura IV.5. Velocidad mensual media del viento (Fuente: I.N.M.)

Un hecho semejante ocurre en relación a la velocidad media mensual de las rachas máximas (figura IV.6). En este caso, podemos observar cómo las menores velocidades (que superan los 60 km/h) se producen bajo el dominio de los vientos del O y, por el contrario, las mayores (que alcanzan los 134 km/h, en el mes de mayo) coinciden con los meses en que se produce el dominio de los vientos del NE. En relación al porcentaje en la dirección de estas rachas (figura IV.7), observamos, igualmente, que el mayor dominio (con un 27,7% de las ocasiones) se produce en la dirección ENE, seguido por la dirección OSO, con el 16,8% de los casos. A éstas les siguen muy de cerca las direcciones E y O, con el 16,3% y 15,9% de los casos, respectivamente. En conjunto, podemos afirmar que, si consideramos las cuatro direcciones más significativas, el mayor porcentaje de rachas máximas se produce en las direcciones de componente E, con el 43,9% de los casos, mientras que las de O está representadas por el 32,7%.

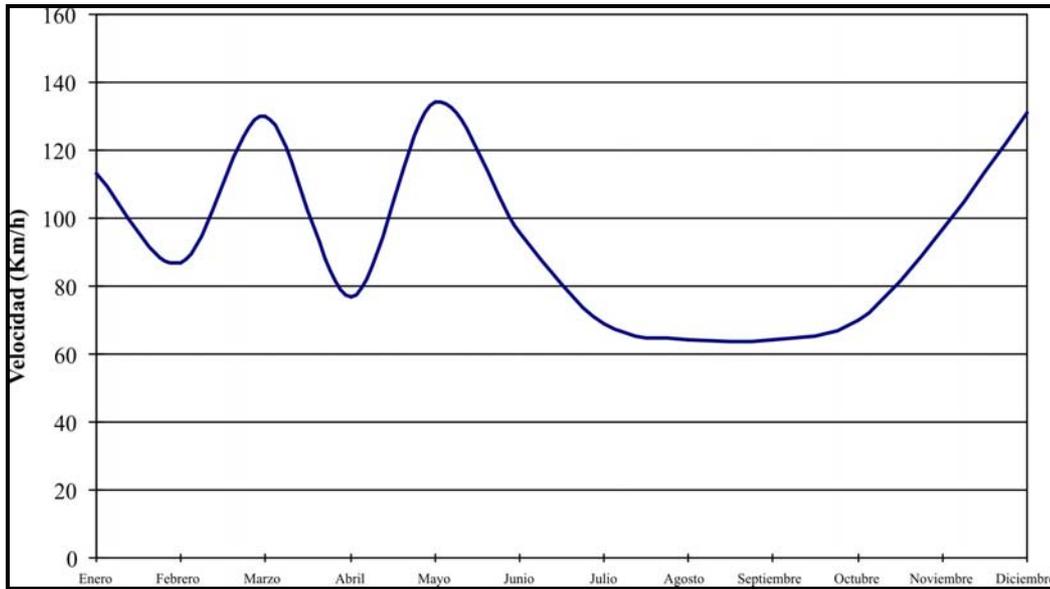


Figura IV.6. Velocidad media mensual de las rachas máximas del viento (Fuente: I.N.M.)

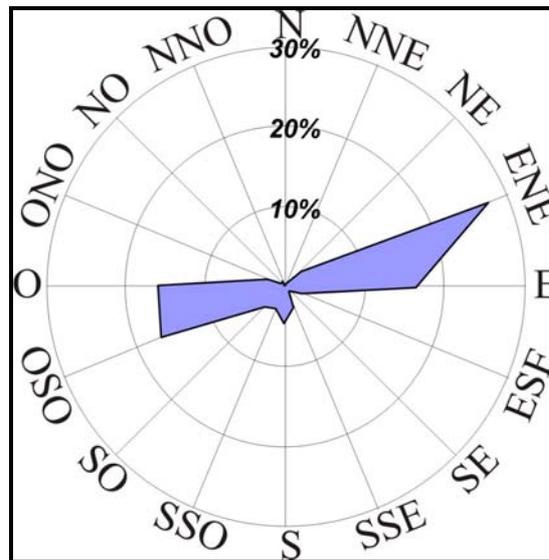


Figura IV.7. Dirección de las rachas máximas del viento (Fuente: I.N.M.)

Otro aspecto que también ayuda a entender el movimiento de la arena es la variación que experimenta la velocidad media diaria del viento (figura IV.8). Así, podemos observar cómo desde las últimas horas de la tarde, y hasta media mañana, la velocidad del viento

es baja (con una media de 10 km/h) y con escasas variaciones, mientras que entre las 9 y las 10 de la mañana comienza un aumento significativo de la velocidad, que alcanza su punto máximo entre las 2 y las 3 de la tarde, duplicando la cifra anterior. Ésta desciende paulatinamente hasta regresar a su punto de origen a las 11 de la noche. La explicación a este hecho se encuentra en el funcionamiento diario del alisio, que sufre variaciones conforme cambia la temperatura (Martínez, 1990; Naranjo, 1999). Esta misma tendencia la observamos durante todo el año, como se puede comprobar en la figura IV.9, relativa a los datos de velocidad media diaria para los meses de máxima y mínima, febrero y agosto, respectivamente, así como en relación a las rachas máximas (figura IV.10). Estos datos se relacionan con los análisis efectuados para los registros tomados en la estación de Gando, en el aeropuerto de Gran Canaria, y que muestran una variación diaria significativa en la media anual de las calmas, con valores máximos (13%) para las 7 de la mañana, y mínimos (4%) para las 13 horas (Jover-Fernández de Bobadilla, 1973).

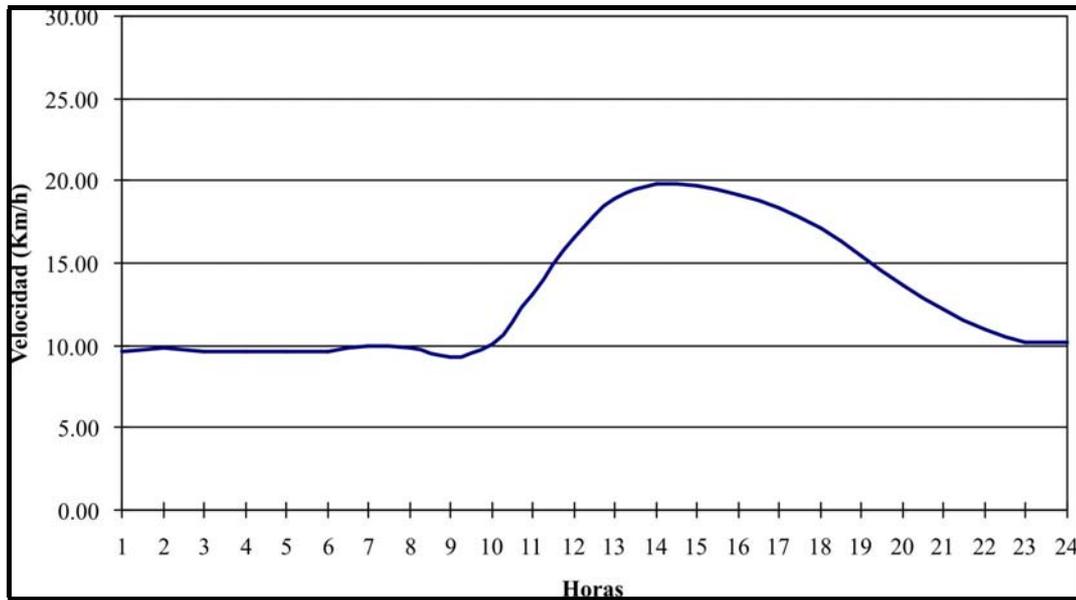


Figura IV.8. Velocidad media diaria del viento (Fuente: I.N.M.)

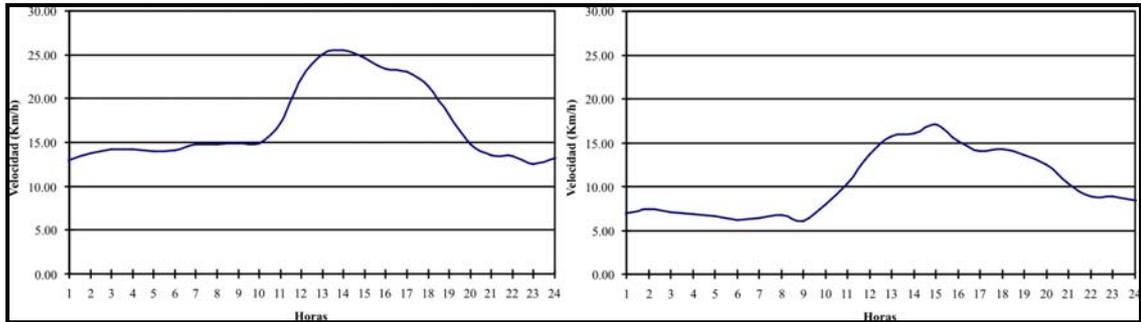


Figura IV.9. Velocidad media diaria del viento en febrero (izquierda) y agosto (derecha) (Fuente: I.N.M.)

La relación entre las variaciones diarias del viento y la dinámica sedimentaria, se ha contrastado en el ejercicio realizado en la playa del Inglés, hecho con el objetivo de determinar las modificaciones inducidas por un kiosco en el flujo eólico (figuras VI.5 y VI.7). Así, bajo un régimen de alisios, se produce la coincidencia horaria entre la dirección y la velocidad del viento, de modo que, cuando dominan las direcciones relativas al E, los anemómetros que presentan menor influencia del kiosco estudiado, registran las mayores velocidades medias, entre 6 y 8 m/s (21,4 - 28,6 km/h). Por el contrario, cuando se produce la variación diaria observada (la velocidad media se sitúa entre 0,5 y 3 m/s –entre 1,79 y 10,7 km/h-), también se produce la variación de la dirección del viento, situándose en O.

A la vista de estos resultados, podemos concluir que el viento, en el sistema dunar de Maspalomas, presenta tres variaciones estacionales y diarias importantes: la primera, en su dirección, la segunda en la velocidad media mensual y, la tercera, en la velocidad diaria. En cuanto a la primera, viene determinada por la estacionalidad, de la que resulta que se produce el dominio de los vientos de componente NE, desde finales de otoño hasta principios de la primavera, mientras que los del O lo hacen, en general, durante los meses de verano. Así mismo, hay dos temporadas de transición clara, en las que se alternan ambas direcciones dominantes (los meses de abril y mayo, por un lado, y los de septiembre y octubre, por otro). De esta información, y considerando los datos relativos a las frecuencias de las direcciones medias anuales, parecería deducirse que en este sistema

no existe un claro dominio de una dirección; por lo que, atendiendo exclusivamente a estos datos, el desplazamiento de los sedimentos no se debería producir en una dirección dominante, cuestión que contradice las observaciones realizadas por otros medios.

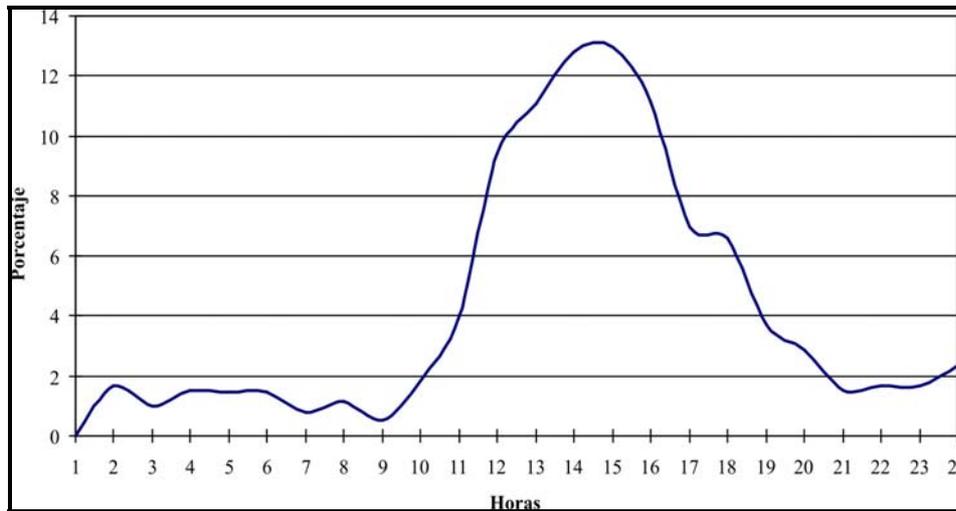


Figura IV.10. Velocidad media diaria de las rachas máximas de viento (Fuente: I.N.M.)

Es precisamente la segunda variación señalada, la que resulta clave para aclarar esta paradoja: se trata de la velocidad media mensual del viento. Atendiendo a la información obtenida, resulta que las mayores velocidades se registran cuando el viento sopla en la dirección NE, lo que implica que el transporte más efectivo de sedimentos se produce por los vientos provenientes de esta dirección.

Pero igualmente, la tercera variación comentada también explica que los sedimentos se desplacen principalmente en la dirección NE-SO. Esta variación es diaria, y deriva de un comportamiento combinado de velocidad y dirección de los vientos. Así, cuando el viento sopla desde el NE, también se producen las mayores velocidades, lo que garantiza, igualmente, un desplazamiento de los sedimentos en la dirección NE-SO.

De acuerdo con estos resultados, y considerando que nos encontramos en un espacio caracterizado por la dinámica sedimentaria eólica, entendemos que no resulta adecuado

aplicar el término “viento dominante” al referirnos al componente NE, y encontramos más contenido en el término “viento efectivo”, que utilizaremos a partir de este momento en esta investigación.

4.2. Velocidad de desplazamiento de las dunas

Los trabajos realizados hasta ahora consideraban que las dunas se desplazaban a una velocidad anual de entre 2 y 5 metros (Nadal y Guitián, 1983; Martínez, 1990; Naranjo, 1999). El seguimiento realizado, durante un año, en esta investigación, permite concluir que, dependiendo de su localización espacial, las dunas se desplazan a velocidades muy diferentes (figura IV.11). Pero es más, en cualquiera de las situaciones, este desplazamiento anual supera el rango considerado hasta ahora por otros autores . Así, a la vista de los resultados obtenidos, se puede establecer un nuevo rango de desplazamiento anual, que estaría comprendido entre los 76 cm, en las áreas más estables, y los 12,33 m, en las más dinámicas.

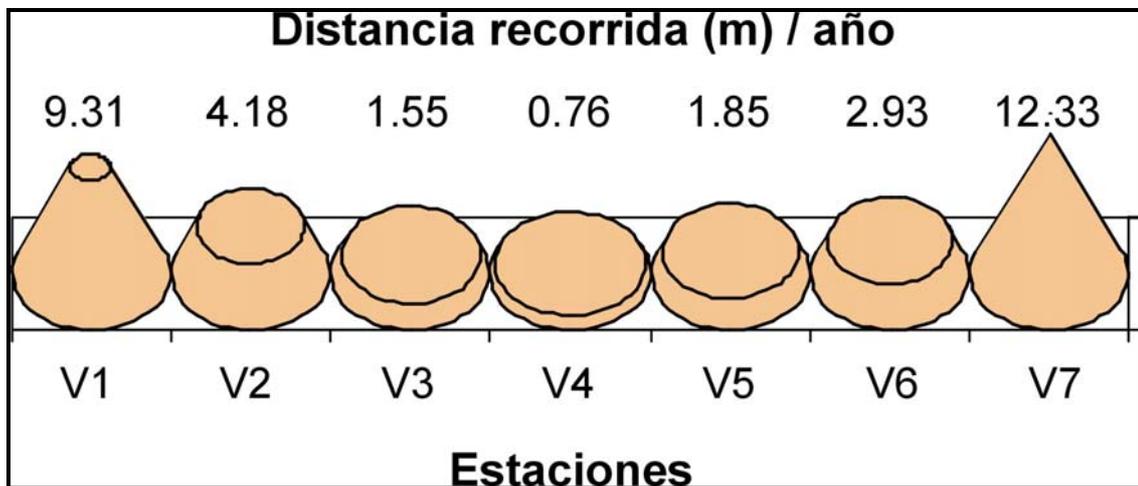


Figura IV.11. Velocidad de desplazamiento de las dunas durante el período estudiado

Una de las primeras cuestiones abordadas fue establecer la relación que existía entre la altura de cada duna y su ritmo de desplazamiento (figura IV.12), dado que es posible deducir que la velocidad de desplazamiento de una duna esté en relación directa con la

cantidad de volumen que debe ser desplazado. Como se puede observar, a pesar de que algunas dunas presentan una relación inversa (especialmente las estaciones V3, V4, V5 y V6), ésta queda rota claramente cuando se consideran los datos relativos a la última duna móvil (V1) y a la última línea de dunas (V7). Por ello, se puede afirmar que el desplazamiento de las dunas no está relacionado, al menos unilateralmente, con la altura que presentan, es decir, con el volumen de sedimentos que tiene que ser desplazado.

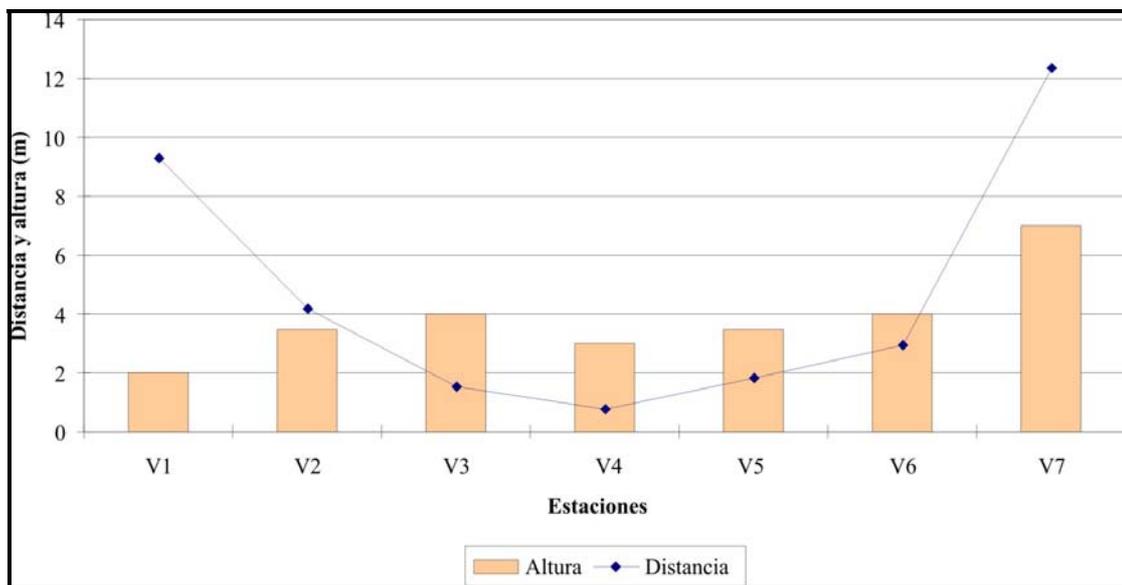


Figura IV.12. Relación entre la altura de las dunas y su ritmo de desplazamiento

Por ello, es necesario complementar estas observaciones con otros datos que nos permitan interpretar las diferencias detectadas en el desplazamiento de las dunas. Especialmente interesante se muestra la figura IV.13, en la que se ha representado la localización espacial de los valores relativos a estos desplazamientos, en forma de flechas proporcionales. Considerando éstos conjuntamente, y relacionándolos con las condiciones ambientales de las dunas observadas, se pueden establecer algunas relaciones entre todo ello, los vientos efectivos, y el tránsito de los sedimentos.

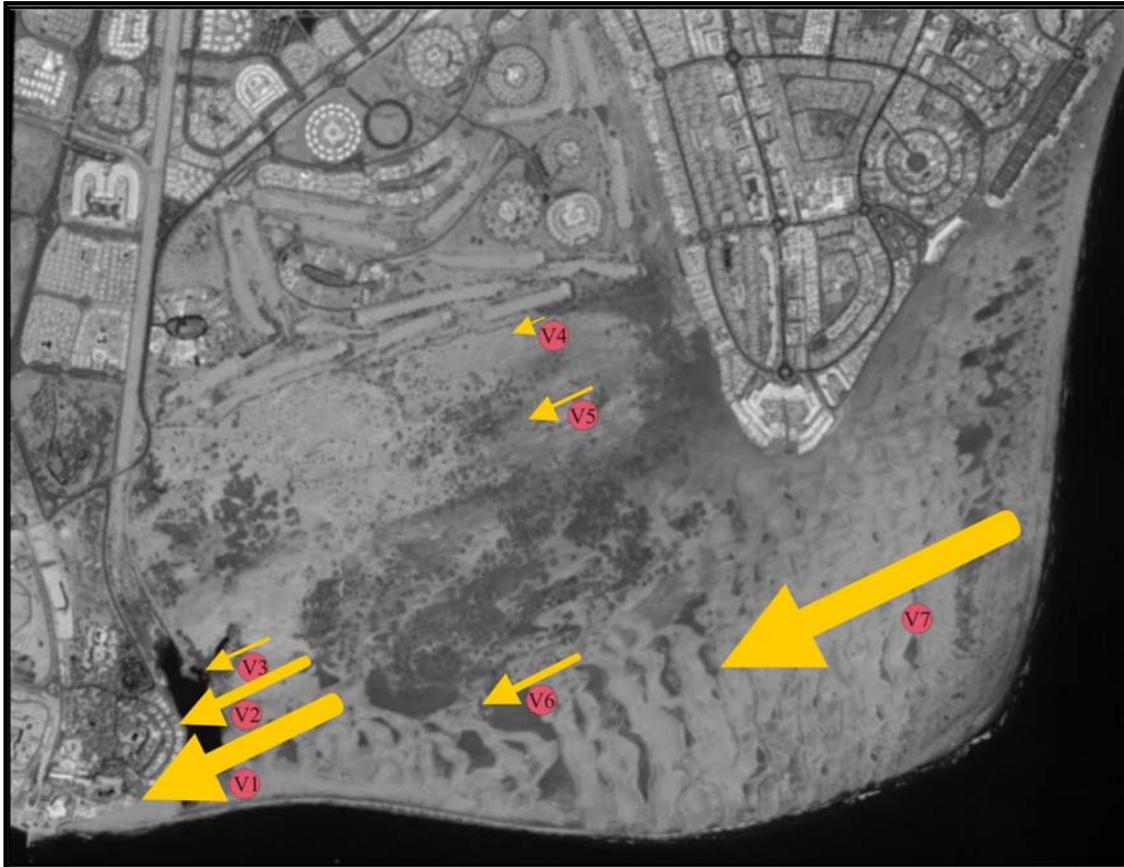


Figura IV.13. Representación espacial de la velocidad de desplazamiento de las dunas

Nuestro primer punto de observación se localiza en la primera línea de dunas (V7), a unos 200 metros de la costa, que se corresponde con el primer cordón transversal que aparece desde la entrada de los sedimentos en el sistema, en la playa del Inglés. Se trata de un punto en el que no se producen alteraciones significativas al desplazamiento de los sedimentos, pues no existen elementos que se interpongan en su dinámica desde el litoral, al menos en superficie. Por ello, podemos decir que se trata de una duna que se desplaza libremente, por lo que los 12,33 m / año que se han observado en este punto, resultan muy significativos, tal y como veremos más adelante, para conocer el funcionamiento del sistema dunar y su dinámica multianual.

Siguiendo el recorrido teórico de los sedimentos, en función de la dirección de los vientos efectivos, el segundo punto observado (V6) se localiza al norte de la Cañada de la Penca, en el sector oriental de la llanura de deflación de Maspalomas, y a unos 200 metros de la línea de costa. Éste se encuentra a la misma longitud que los puntos interiores V4 y V5, aunque desplazado notablemente hacia el sur. Sin embargo, presenta una mayor velocidad de desplazamiento (más de un metro anual con respecto a V4), pues, a diferencia de los anteriores, no está situado directamente a sotavento de la terraza urbanizada del Inglés. No obstante, su ubicación a sotavento de un sector en el que la vegetación presenta un porte arbustivo y/o arbóreo, sí condiciona que el desplazamiento no se realice a mayor velocidad.

Estas mismas afirmaciones pueden ser establecidas en relación con los citados puntos V4 y V5, por cuanto la duna interior (V4) se localiza al norte que la duna media (V5) y, por tanto, directamente a sotavento de la terraza del Inglés. Recordemos que la estación V4 representa el único enclave móvil, propiamente dicho, del sistema interior, pues no se localizan nuevas formas de acumulación en sus alrededores, ni parece que reciba nuevos aportes significativos. Al tiempo, la vegetación del sector presenta un grado de cobertura notable, desarrollándose incluso sobre esta misma geofорма, que tiende a convertirse en una duna vegetada y, por tanto, estable. Por su parte, V5 se localiza en el sector de transición hacia la parte media del sistema, que aún mantiene algunos aportes sedimentarios y presencia de viento. De ahí que las diferencias de desplazamiento entre ambas dunas interiores sea superior a un metro anual.

Este mismo esquema lo observamos en la última línea de dunas, de modo que, cuanto más hacia el interior nos desplazamos, menor será la tasa de desplazamiento anual de las formas dunares. En este sentido, no sólo se trata del papel que pueda jugar la terraza sedimentaria directamente sino, así mismo, el que ejerce la vegetación: ésta ha tenido un amplio desarrollo en el área intermedia del sistema, el sector de las hoyas, a barlovento de esta línea de dunas. Así, con respecto a la última duna (V1), la inexistencia de obstáculos

directos, y el hecho de que se localice tan cercana a la línea de costa, posibilita una altísima tasa de movilidad. Por su parte, las estaciones V2 y V3 son dos sectores de un mismo cordón transversal, y sus diferencias, en cuanto a la velocidad de desplazamiento, son debidas a la existencia de una mayor cobertera vegetal a barlovento del sector norte (V3).

En conclusión, la posición de las dunas respecto a la terraza del Inglés, y a la amplia zona de vegetación que representa el sector intermedio del espacio dunar, explica las diferencias en sus tasas de movilidad. Éstas son mayores conforme nos desplazamos hacia la costa y nos alejamos de los obstáculos señalados. De igual forma, existe una mayor tasa de desplazamiento en el sector oriental del espacio, en detrimento del sector occidental, al tratarse de un área plenamente expuesta a los vientos efectivos. En este sentido, las grandes formas dunares del sector meridional del sistema pueden estar ejerciendo un papel de frenado al sedimento a lo largo de su recorrido.

4.3. Altura de la lámina de arena

La lectura de los perfiles topográficos elaborados para las distintas áreas del sistema dunar (figura IV.14), permite establecer algunas consideraciones sobre la altura de la lámina de arena en cada uno de estos sectores, así como sobre el volumen de sedimentos. Estos datos, por sí mismos, aportan ya información valiosa, como la identificación de las áreas donde se producen retenciones de arenas. Pero, lo que resulta más significativo, es que permiten su comparación con otros del pasado, por lo que se puede determinar si se han producido variaciones interanuales en el volumen de los sedimentos.

El sector norte de la franja del Inglés (A1) (figura IV.15) se localiza a barlovento de la terraza sedimentaria del mismo nombre. El perfil altitudinal muestra unas tasas de acumulación importantes en este sector, dado que representa la mayor altitud media del sistema (11,3 m), y se identifican formas dunares con alturas próximas a los 17 metros.

De ello se deduce que la terraza funciona como una verdadera “trampa” a los sedimentos que se desplazan desde la línea de costa. El descenso desde la plataforma superior de la terraza hasta la costa está caracterizado por algunas formas de acumulación, con crestas muy suaves, en el primer tramo. Conforme nos desplazamos hacia el E, descendemos en altura, manteniendo algunas formas de acumulación con crestas redondeadas. A unos 350 metros de la línea de costa, se produce el descenso más pronunciado (8 m en 100 metros longitudinales) y, a partir de ese punto la pendiente adquiere valores moderados hasta el final. En conjunto, el perfil transversal nos aporta un volumen total de 5,57 millones de m³ para la totalidad del sector.

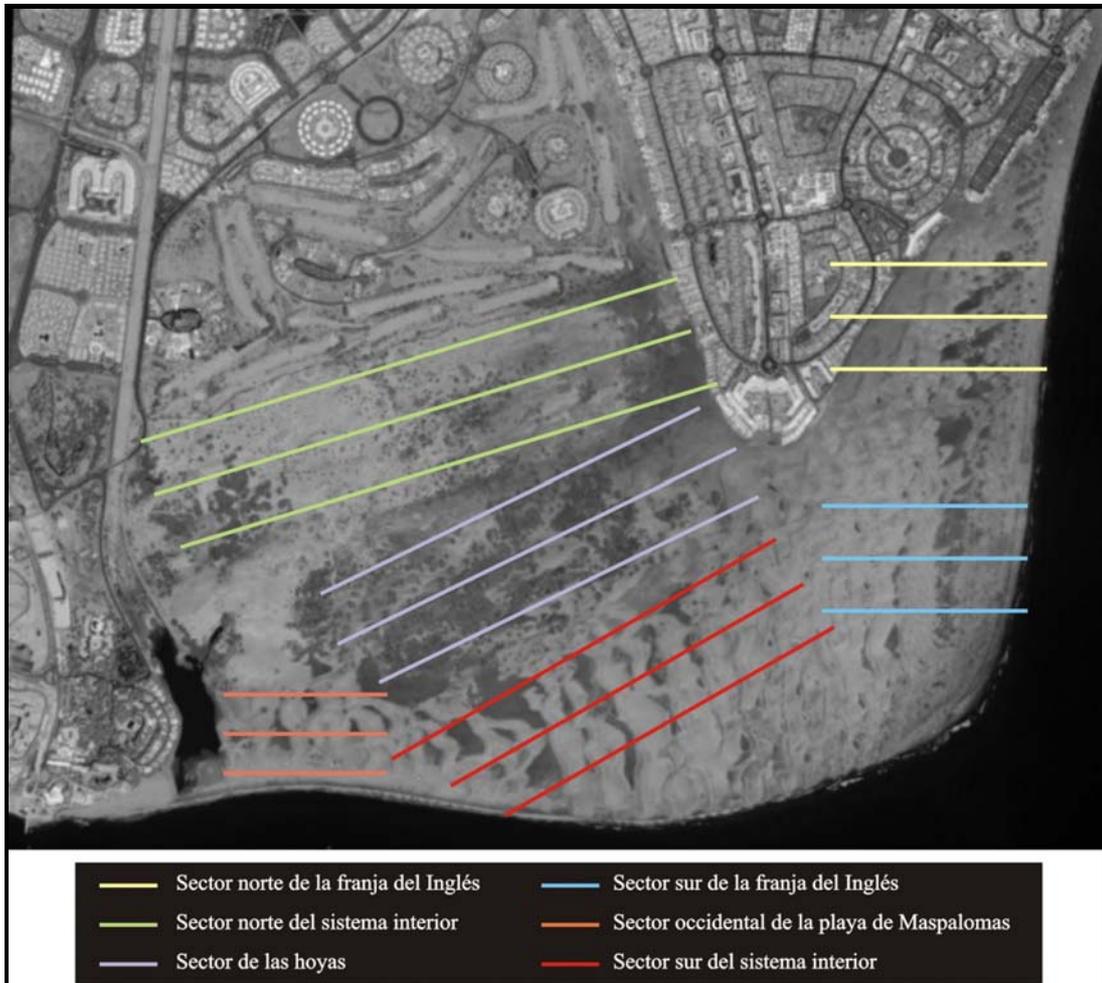


Figura IV.14. Trazado de los perfiles originales

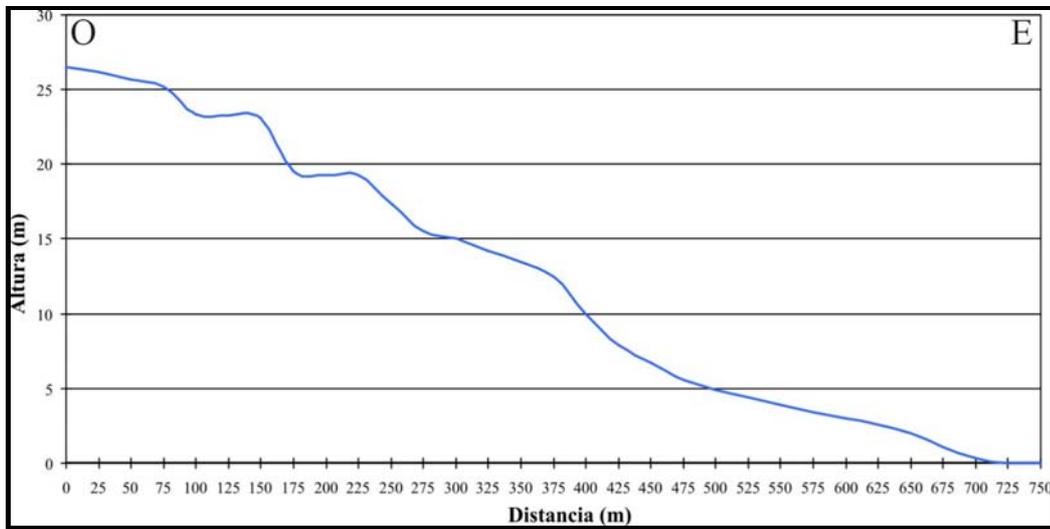


Figura IV.15. Perfil altitudinal para el sector norte de la franja del Inglés

Con una altura media de 3.1 metros, el sector sur de la franja del Inglés (A2) (figura IV.16) representa un área donde las formas dunares se desplazan libremente hacia el interior del sistema. Este desplazamiento implica una variación considerable del sedimento, de modo que, durante los primeros 300 metros desde la línea de costa, apenas se alcanzan los 2 metros de altura, cifra que asciende hasta casi los 3 metros durante los siguientes 200 metros. Sin embargo, a partir de este punto, la variación de altura del sedimento es muy importante, al encontrarnos ya en el ámbito de los mayores cordones transversales del interior de esta franja, donde se pueden llegar a identificar acumulaciones sedimentarias con más de 14 metros de altura. En este tramo es fácil reconocer los espacios interdunares y la presencia de acumulaciones sedimentarias, en forma de dunas transversales, cuya altura media ronda los 8 metros. Los datos de este perfil permiten calcular un volumen total de 2,45 millones de m³.

El área sur del sistema interior (C8) (figura IV.17), con 5,45 metros de altura media, presenta las mayores acumulaciones sedimentarias que se desplazan libremente, que alcanzan los 10 metros de altura media, aunque se identifican formas que llegan a tener

alturas cercanas a los 12 metros. Atendiendo al perfil obtenido, no se aprecian variaciones significativas, salvo las propias derivadas de la sucesión de dunas y espacios interdunares, como corresponde a un área donde los sedimentos se mueven conformando cordones transversales. A partir de los datos suministrados por el perfil, se calcula un volumen total de 3,22 millones de m³.

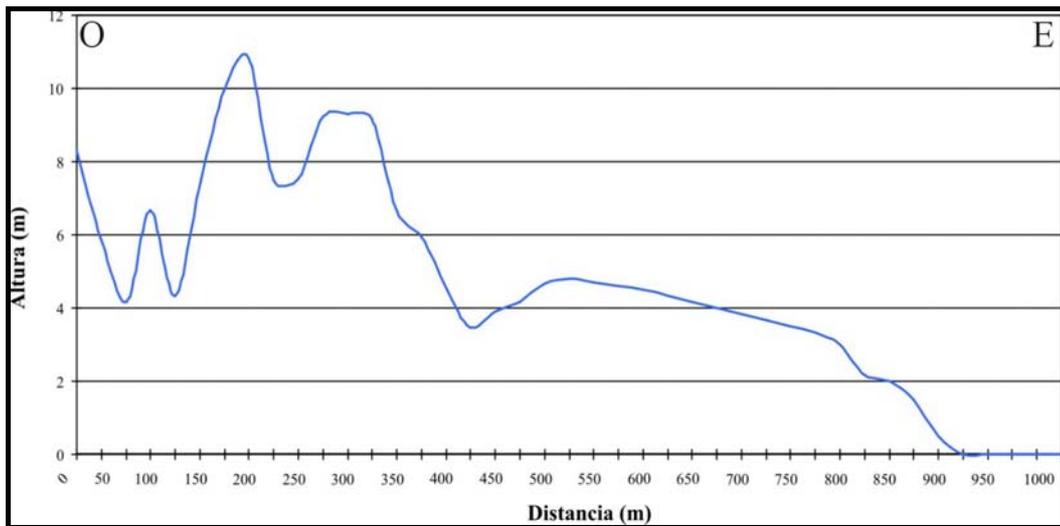


Figura IV.16. Perfil altitudinal para el sector sur de la franja del Inglés

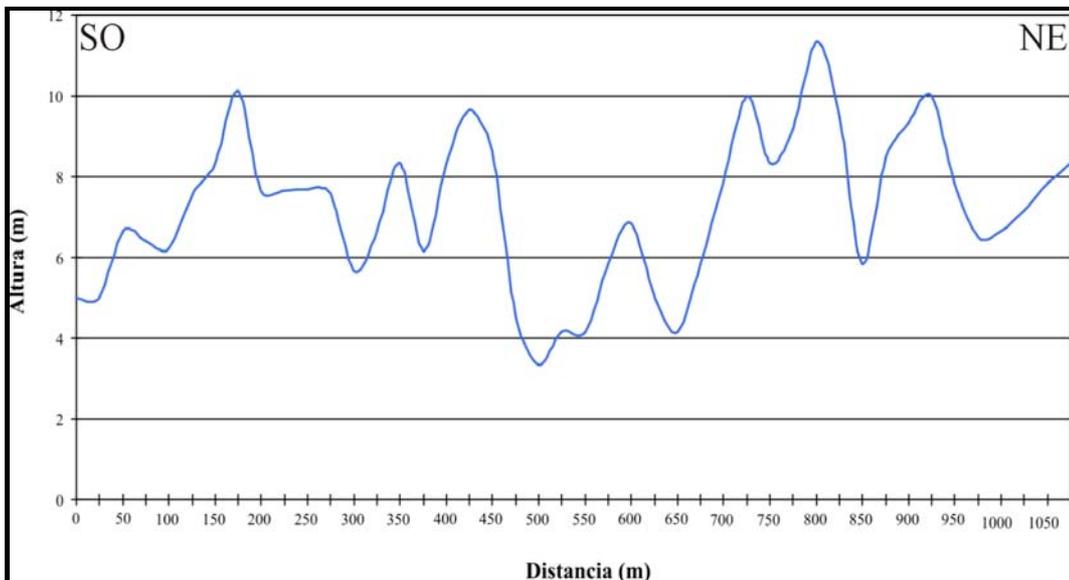


Figura IV.17. Perfil altitudinal para el área sur del sistema interior

El segundo sector con mayor altitud, tras el área norte de la franja del Inglés, es el que se localiza justo a sotavento de la terraza sedimentaria (C6) (figura IV.18). Se trata de un área con una altura media de 10,9 metros, que presenta escasas variaciones altitudinales, salvo en las proximidades de la terraza, donde desciende desde los 20 m hasta los 8 m en los primeros 250 metros. A partir de este punto y, hacia el O, las variaciones son muy suaves, coincidiendo con la presencia de dunas (algunas activas, pero principalmente, estabilizadas por la vegetación) y espacios interdunares, la mayoría densamente colonizados por la vegetación. De forma muy diferente hay que interpretar las grandes dunas estabilizadas en este sector, como el Alto del Gato (con 24 metros de altura) o el Alto de la Tabaibilla (con 22,7 metros), que corresponden a elementos residuales de un sistema pretérito y, posiblemente, prehistórico. En relación al perfil medio del sector, se aprecia una ligera desviación de la pendiente media hacia el O, caracterizada por una caída muy suave, apreciable en la disminución de la altura, tanto en cuanto a las crestas de las dunas, como en cuanto a los espacios interdunares. A partir de los datos aportados por el perfil, se ha podido calcular un volumen total de 7,16 millones de m³ para todo el sector.

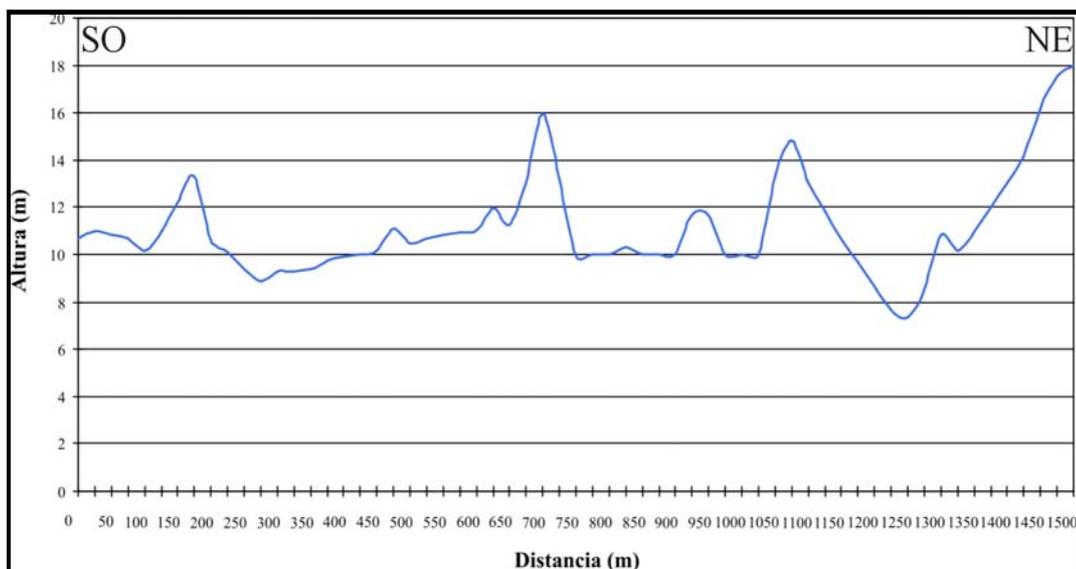


Figura IV.18. Perfil altitudinal para el sector norte del sistema interior

El perfil altitudinal del sector de las hoyas (C7) presenta una altura media de 5,45 metros (figura IV.19). El gráfico que lo representa permite observar la variación altitudinal, de NE a SO, determinada por tratarse de un área que se extiende desde el pie de la terraza sedimentaria del Inglés, donde alcanza sus mayores alturas, hasta la terraza baja, en el interior del sistema, donde conecta con la llanura de deflación de Maspalomas. El primer tramo, siguiendo la dirección señalada, se caracteriza por la presencia de una importante acumulación de arenas, que llega a presentar, en algunos enclaves, más de 9 m de altura, y que representa el “almacén” sedimentario de todo el sector. A partir de este punto, se produce, por espacio de 400 metros, una importante variación en cuanto a los espacios cubiertos por arena (la mayoría responden a lomas vegetadas, estabilizadas por tarajales) y amplios espacios abiertos donde aflora el sustrato. De forma general, el perfil topográfico desciende paulatinamente conforme nos desplazamos hacia el SO. Los datos suministrados por este perfil, permiten calcular un volumen total de 2,57 millones de m³ para este sector.

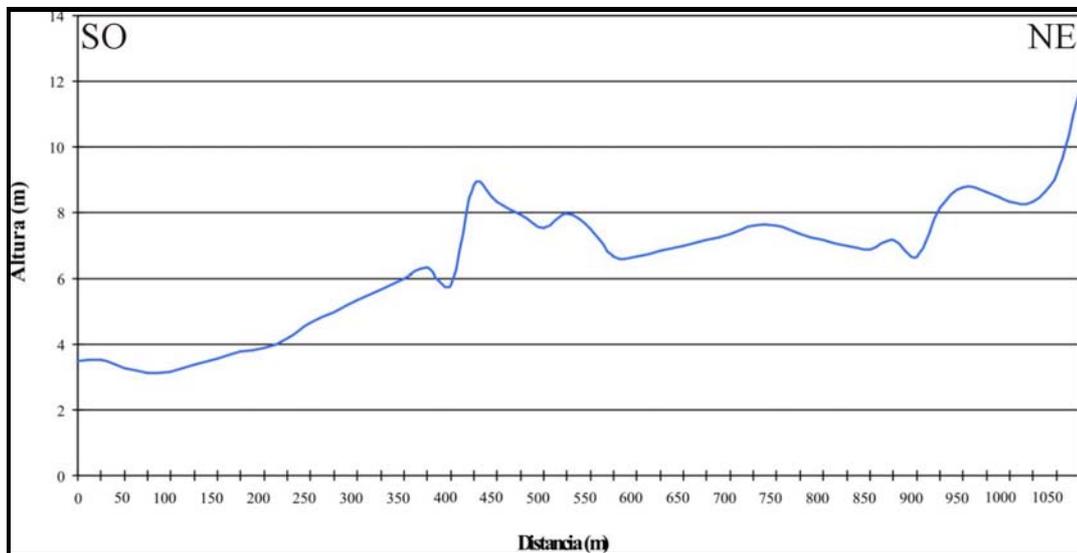


Figura IV.19. Perfil altitudinal para el sector de las hoyas

El sector del entorno de la playa de Maspalomas (D10) presenta una altura media de 3,6 metros, aunque puntualmente se pueden localizar dunas con una altura superior a los 8 metros. Atendiendo al perfil topográfico (imagen IV.20), se muestra como un área con presencia de cordones transversales, aunque más pequeños que los observados para el sector sur del interior del sistema dunar (C8). Es posible identificar la existencia de un ligero incremento de la altura media conforme nos desplazamos hacia el E, hecho que indica una disminución importante de sedimentos hacia el O. Esta cuestión parece estar en relación con un funcionamiento “residual” de este sector, en relación con el tránsito de los sedimentos, cuestión que será tratada en detalle en el apartado 4.4.6. Los datos suministrados por este perfil, nos permiten calcular un volumen de 567.000 m³ para la totalidad del sector.

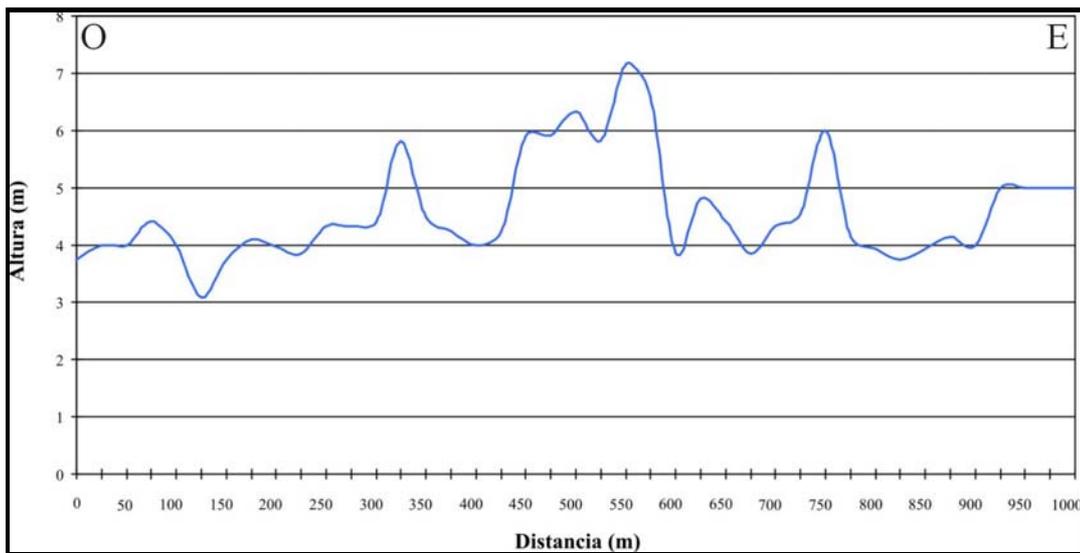


Figura IV.20. Perfil altitudinal para el sector del entorno de la playa de Maspalomas

En conjunto y, considerando los datos analizados, la altura media del sedimento se sitúa en torno a los 6,59 metros. Esta cifra nos permite calcular un volumen de materiales cercano a los 23,67 millones de m³ para el espacio dunar en esta fecha.

4.4. Geomorfología eólica a finales de los años 90 y año 2000

4.4.1. Antecedentes

Considerando los antecedentes, se establece que las geoformas dominantes en este sistema son las dunas, principalmente transversales y barjanas. Estas últimas aparecen, sobre todo, en la periferia del campo dunar. Debido a la marcada aridez no se forman dunas paralelas (tipo de duna característica de zonas costeras húmedas), sino un tipo especial de barjanas, que presentan una caída a sotavento con una pendiente superior y, a barlovento, una pendiente más suave (Klug, 1977). La existencia de estas barjanas es debida a que la alimentación se inicia con aportes reducidos, si bien la constancia de éstos produce una gran disponibilidad de arenas, formándose entonces dunas transversales (Martínez, 1986).

Martínez *et al.* (1986), establecen cinco tipos de dunas, siendo las dominantes las transversales del NE, que ocupan el 57% de la superficie del sistema, y las barjanas del NE, que lo hacen con el 28%. La superficie restante la ocupan dunas transversales del sureste, barjanas del sureste y en dunas en cresta de gallo, producto estas últimas de la acción conjunta de los vientos del SE y NE. Estas formas dunares responden tanto al dominio en la dirección de los vientos, como a los aportes de arenas. En cuanto a estos últimos, existe una alimentación considerable desde Playa del Inglés, puesto que las dunas orientadas según el régimen de vientos NE representan, como hemos comentado, el 85% (Martínez *et al.*, 1986).

Su avance se establece en función de los tres tipos de viento que describe: los dominantes del NE (los vientos alisios) y los reinantes del E-SE, condicionan el avance de las dunas (Martínez, 1990); mientras que los significativos del O-SO, cuando toman velocidades de moderadas a fuertes, determinan retrocesos (Nadal y Guitián, 1983). Las dunas del NE y SE presentan una distribución continua, con un solo núcleo de máximos porcentajes que definen la dirección N81E, en consonancia con los alisios (Martínez y Casas, 1992).

El movimiento de las dunas, como se ha señalado con anterioridad, había sido calculado entre 2 y 5 metros por año, si bien no se presentaba igual en todo el campo dunar (Naranjo, 1999). Esta afirmación abre las puertas a la existencia de áreas donde las arenas se mueven a diferentes velocidades, bien debido a la inexistencia de sedimentos, bien por la carencia de vientos efectivos o por la combinación de ambos factores. Para Martínez (1994), se pueden distinguir cuatro áreas, atendiendo a su actividad: una zona de actividad incipiente y sedimentaria, que se corresponde con el frente de entrada de las arenas, en la playa del Inglés; una zona activa, en el sector más septentrional del sistema dunar; una zona de actividad sedimentaria amortizada, en la franja intermedia del sistema y, finalmente, algunas zonas (puntos y líneas) de actividad terminal en cuanto a los procesos sedimentarios, en el interior.

4.4.2. Características de la geomorfología eólica actual

De forma general podemos afirmar que nos encontramos ante un espacio delimitado espacialmente por la presencia de elementos naturales y humanos claramente definidos (mapas relativos a la geomorfología eólica para finales de los años 90 y año 2000): al este y al sur, el mar representa el único elemento natural, formando parte activa de este sistema, a través de un intercambio continuo de sedimentos. Es notable, igualmente, su papel condicionante en la dinámica de las arenas, pues sus ascensos por capilaridad afectan a los sectores deprimidos del sistema. En el margen occidental se sitúa la desembocadura del barranco de Fataga-Maspalomas, encauzado durante el desarrollo de las primeras urbanizaciones, en los años 60, con el fin de ganar superficie útil a la edificación turística y evitar inundaciones. En su contacto con el mar, aparece la Charca de Maspalomas, el pequeño *lagoon* rodeado de urbanizaciones con hoteles y complejos de apartamentos. Por último, al norte, el espacio dunar se encuentra delimitado por la presencia del campo de golf y, adentrándose en las arenas, en forma de cuña, la terraza sedimentaria del Inglés, sobre la que se ha desarrollado el proyecto urbanístico con destino turístico más denso del sur de la isla.

A continuación se presentan los datos obtenidos del análisis de la geomorfología eólica, atendiendo a las unidades sedimentarias establecidas en el capítulo II. De su interpretación se obtiene, finalmente, el funcionamiento del sistema en la actualidad, considerando el papel que juega cada una de estas unidades.

4.4.3. La franja del Inglés (A)

En el contexto del funcionamiento del sistema, y por lo que respecta a la dinámica sedimentaria eólica, la franja del Inglés corresponde al área de entrada de las arenas (Martínez, 1990). Desde el punto de vista geomorfológico, se configura como una amplia superficie de escasa pendiente y de unos 2 km de longitud, de norte a sur, caracterizada por la presencia de la playa del Inglés. La playa alta se sitúa a unos 50 metros de la línea de bajamar, y en ella se ubican los ejemplares de *Traganum moquinii*, que modifican el tránsito de los sedimentos, conformando las primeras acumulaciones a sotavento, que dan continuidad, hacia el interior, a las primeras formas dunares propiamente dichas. También se ubican los equipamientos de playa para fines turísticos (kioscos, hamacas y sombrillas), que alteran igualmente el tránsito de los sedimentos y, sólo en el sector sur, se encuentran los goros (acumulaciones de callaos) realizados por los usuarios de la playa con el fin de protegerse del viento.

El recorrido de los sedimentos, desde la playa hasta las dunas, es prácticamente inmediato en algunos puntos del sector norte (A1), pero conforme nos dirigimos hacia el sector sur (A2), éste se produce cada vez a mayor distancia, teniendo que recorrer una amplia superficie de deflación.

4.4.3.1. El sector Norte (A1)

Este sector, con una superficie de 49,35 has, queda delimitado, hacia el interior, por la existencia de la terraza sedimentaria del Inglés, totalmente edificada, que determina, en buena medida, la dinámica de los sedimentos. La urbanización supone un freno a los vientos alisios y, con ello, intercepta gran parte de los sedimentos, tal y como

se pudo constatar en los perfiles topográficos. Al mismo tiempo modifica el flujo eólico y, con ello, la movilidad de los materiales. Por su parte, los balcones que se sitúan en este sector norte, también contribuyen a retener los sedimentos, pues poseen un porte notable. De igual forma, los equipamientos de playa condicionan también, al menos parcialmente, la circulación de la arena hacia el interior, tal y como se demostrará en el apartado dedicado a los impactos ambientales (VI.1).

Con respecto al papel que juega la terraza urbanizada del Inglés, su disposición transversal a la dirección de los vientos efectivos, origina una importante modificación al tránsito de los sedimentos. El primer indicio de este fenómeno lo encontramos al considerar la superficie ocupada por las arenas húmedas, en relación a las secas, y en movimiento. A partir de esta observación se puede deducir que el volumen de los sedimentos móviles es bastante alto, por lo que, en un balance entre sedimentos disponibles y vientos efectivos, podríamos decir que éste es claramente favorable a los primeros. En su corto recorrido desde que se secan en el estrán de la playa, estos sedimentos terminan por conformar, en el área de barlovento de la terraza sedimentaria, formas dunares que, en el sector situado más al norte, no responden a ningún patrón morfológico fijo, presentándose como una acumulación masiva e informe de arenas. A medida que avanzamos hacia el sur, comienza a ser posible distinguir algunas formas tipificadas. Así, en el tramo más cercano a la playa identificamos las crestas de algunas dunas complejas, con rasgos barjanoides, que se presentan con una dirección transversal a los vientos alisios. Las acumulaciones que se producen al pie de la terraza, en la parte media de este sector norte, adquieren la forma de cordones barjanoides, de entre 50 y 60 metros de anchura, que se sitúan perpendiculares a la terraza sedimentaria. El más cercano al pie adquiere, dada su inmovilidad aparente, los rasgos característicos de una duna eco, que ve imposibilitado su avance debido a un vórtice eólico que se genera a sotavento, por el choque de los vientos efectivos contra el talud de la terraza del Inglés.

Conforme nos desplazamos hacia el sur, aún bajo la influencia de la urbanización, las formas dunares se sitúan transversales a la dirección NNE-SSO. El viento, y por tanto los sedimentos, han experimentado un paulatino re-direccionamiento hacia el sur, y se adentran en el interior del sistema dunar (C8) sorteando el obstáculo de la terraza del Inglés.

Por lo que respecta al papel que juegan los ejemplares de *Traganum moquinii*, las formas dunares, en su origen, están estrechamente relacionadas con su presencia en la playa alta. Estos individuos vegetales funcionan como trampas a los sedimentos, originando las primeras acumulaciones a sotavento, las dunas incipientes o embrionarias. Conforme estas formas dunares adquieren un volumen suficiente, comienzan su avance hacia el interior del sistema. Este tránsito sedimentario se realiza inmediatamente en los sectores más protegidos por la terraza, en forma de dunas transversales. Sin embargo, hacia el sur, el alejamiento de la influencia de la terraza, hace posible identificar formas dunares de escaso volumen, caracterizadas como barjanas, que se localizan en el sector septentrional de esta área norte, conjuntamente con láminas de arena, que indican un balance, en este tramo y en este momento, favorable a los vientos efectivos. Dichas formas se desplazan sobre unas llanuras de deflación de superficies variables, aunque conectadas entre sí en la mayoría de los casos, que se manifiestan con formas alargadas, siguiendo la dirección de los vientos efectivos, aunque presentan, igualmente, una componente relevante N-S en anchura. Durante los años de estudio, ha sido posible identificar la ampliación que experimentan estas llanuras: en primer lugar en cuanto a sus dimensiones pues, en conjunto, pasan de tener 3,47 has en 1998 a 3,57 has en 2000. Pero igual de relevante resulta la aparición de una nueva llanura, aunque todavía de reducidas dimensiones en 2000, ubicada al norte, así como la unión de las dos centrales. En la tabla IV.1 se presentan las dimensiones de estas geoformas.

Estas llanuras presentan un considerable grado de humedad a unos pocos milímetros de profundidad, producida por capilaridad, mientras que, en superficie, muestran unas costras salitrosas generadas por evaporación y precipitación de sales.

Área / Dimensión (m)	Longitud (E-O)		Anchura (N-S)	
	1998	2000	1998	2000
A	-	47	-	47
B	88	149	35,5	55
C	158	176	70	59
D	134,5	98	47	55
E	164	101,5	75	133

Tabla IV.1. Evolución de las llanuras de deflación en el sector norte de la franja del Inglés

Los equipamientos de playa, tal y como se explicará en el apartado dedicado a los impactos ambientales (VI.1), también juegan un papel importante en el tránsito de los sedimentos, aunque a la vista de su escasa incidencia en la formación de áreas de deflación, éste parece secundario. En este sector se localizan cuatro kioscos de playa (enumerados del 1 al 4) de unos 10 m², así como 16 cuerpos de hamacas y sombrillas, y un puesto de la Cruz Roja. Todos ellos están en la playa alta, por lo que interfieren en el tránsito de los sedimentos.

El mismo papel señalado para los kioscos, lo juega el puesto de la Cruz Roja, aunque sus efectos se manifiestan de forma notable, pues sus dimensiones son mayores. Sin embargo, al encontrarse, igualmente, en el primer sector de la playa, sus efectos no se traducen, previsiblemente, en la alteración de la dinámica sedimentaria en el interior del sistema dunar. El papel que juegan el resto de los equipamientos (cuerpos de hamacas y sombrillas), se ve, igualmente, condicionado por su ubicación. En relación a los situados más al sur, representan un serio obstáculo al tránsito de los sedimentos, especialmente porque, durante los momentos del día en que el viento sopla con mayor intensidad, son protegidos por mallas que interceptan las arenas.

4.4.3.2. El sector Sur (A2)

En esta parte la influencia de la terraza sedimentaria del Inglés desaparece, lo que permite el desarrollo de un área con dunas que ocupa unas 80,1 has. La falta de algún obstáculo de grandes dimensiones, que actúe de freno a los sedimentos, determina el libre tránsito de las arenas y la formación de dunas. Frente a lo observado en el área norte (A1), donde la terraza del Inglés retiene las arenas secas, en este sector sur se generan una gran cantidad de espacios interdunares, que alcanzan la superficie total de 1,07 has en 1998, y de 1,43 has en 2000.

Por su parte, los ejemplares de *Traganum moquinii* de este sector, presentan un porte mucho más reducido que los ubicados hacia el norte (A1), por lo que su papel en la generación de dunas embrionarias se reduce igualmente. No obstante, es posible identificar algunas dunas barjanas de muy reducidas dimensiones (aproximadamente entre 0,5 y 1 metro de altura) que se adentran hacia el interior del sistema. Están acompañadas en su recorrido por láminas de arena que, ocasionalmente, adquieren la fisionomía de “lenguas” arenosas, tras atravesar los estrechos pasillos que quedan entre los goros cortaviento que aparecen en el sector.

Conforme nos adentramos en el sistema, las formas de acumulación dan lugar a dunas transversales con una anchura media de entre 60 y 70 metros. Se presentan como cordones barjanoides, que orientan sus crestas de forma transversal a la dirección E-O, hecho que podría ser explicado por la variación en la dirección de los vientos que induce la propia isla. Ocasionalmente, estas formas cabalgan, o son cabalgadas por otras, configurando así cordones de dunas compuestas, en las que los espacios interdunares se intercalan de forma semi-ordenada, estableciendo una alineación N-S fácilmente identificable.

La superficie caracterizada por la presencia de estos cordones dunares se extiende hacia el interior del sistema, hasta alcanzar una hipotética línea perpendicular que se proyectase

desde el vértice sur de la terraza sedimentaria. En este punto se unen a los sedimentos móviles que siguen la alineación NNE-SSO, procedentes del sector norte de esta franja (A1).

El tránsito desde la playa de los sedimentos, que dan lugar a estos cordones dunares, se realiza a través de una amplia superficie de deflación que, al igual que ocurre con las ubicadas en el sector norte (A1), presenta importantes variaciones en sus dimensiones durante los años observados, 1998 y 2000. Con el fin de ilustrar este hecho, se ha tomado como referencia algunos ejemplares de *Traganum moquinii* situados en el sector oriental de la playa alta, es decir, cercanos a la línea de costa, para medir las distancias hasta el primer espacio interdunar. A partir de estas mediciones, se obtiene que la distancia media es de 220 metros en 1998, por 245 metros en 2000. La llanura de deflación, en 1998, presenta 439 metros longitudinales por 65 metros de anchura en sus puntos más extremos, dando lugar a una superficie de 1,7 has; en 2000 se mantienen las dimensiones en cuanto a su longitud (en 2000 ya ha alcanzado a las llanuras que se localizan al norte de la franja del Inglés (A1)), si bien su anchura ha crecido hasta los 83 metros, y la superficie se ha ampliado hasta las 2,58 has.

En este sector también se localizan dos barras de callaos. La primera de ellas, se ubica en la parte interior de la playa alta, y presenta una longitud N-S de unos 500 metros en 1998 y, dos años más tarde, su longitud ha crecido hasta los 567 metros. En los últimos años, en algunos enclaves de esta alineación se observan, a través de trabajo de campo, amplias superficies de callaos que han quedado al descubierto. La segunda de estas barras aparece en el sector oriental de la playa alta, cercana a la línea de costa y, aunque corta a la primera barra en su origen (hacia el sur), se mantiene paralela a ésta una vez pasada la punta de la Bajeta. Esta última barra es visible en 1998, con una longitud de 200 metros, y alcanza 422 metros en 2000. El sector meridional de esta barra no resulta visible durante todo el año, al quedar cubierta, durante los meses de invierno, por los sedimentos que

alcanzan el sector oriental de la punta de la Bajeta, procedentes de la erosión de la playa de Maspalomas.

Así mismo, los sedimentos citados configuran una forma de acumulación estacional. Se trata de un *lagoon* que aparece a finales del ciclo erosivo en Maspalomas, bajo el dominio de los vientos del O, y que representa el inicio de un nuevo ciclo de avance del sistema dunar, bajo el régimen de vientos alisios (Martínez, 1990).

En relación a los equipamiento de playa, su efecto se manifiesta de forma semejante a los observados en el sector norte (A1), aunque se ven mitigados por dos cuestiones: la primera, por el menor número de equipamientos que se localizan en este sector; y la segunda, por la forma de algunos kioscos, elevados sobre la rasante, lo que reduce la interceptación de los sedimentos.

Durante los períodos estudiados, en este sector se localizan tres kioscos de playa (los enumerados como 5, 6 y 7), así como 6 cuerpos de hamacas y sombrillas. Con respecto a los primeros, únicamente el enumerado como 5 presenta la misma forma que los ubicados en el sector norte de la franja del Inglés (A1), puesto que los otros dos fueron transformados, precisamente para reducir sus efectos como obstáculos al tránsito de los sedimentos. Así, el kiosco 5 manifiesta las mismas formas de acumulación y deflación observadas para los kioscos ubicados en el sector norte (A1).

En relación a los kioscos 6 y 7, su ubicación sobre ruedas permite un fácil traslado, al tiempo que reduce los efectos observados de acumulaciones y deflación. Como consecuencia, la interacción de estos equipamientos en la dinámica de los sedimentos es diferente, manifestándose procesos de deflación bajo los kioscos, al funcionar como túneles de aceleración eólica (Hernández *et al.*, 2002). En cuanto a los cuerpos de hamacas y sombrillas, sus efectos se manifiestan del mismo modo que lo hacen en el

sector norte de la franja (A1), si bien, al igual que aquéllos, estos equipamientos cuentan con un sistema diario de corrección, realizada por la administración local.

Igualmente, los goros que se ubican en este sector de la playa, también alteran el tránsito de los sedimentos. Sus efectos se manifiestan en la formación de áreas de acumulación a sotavento del obstáculo, y en la generación de pasillos de deflación en los laterales. Estas formas de deflación se alargan hasta una decena de metros hacia el interior del sistema.

4.4.4. La terraza sedimentaria (B)

El papel de la terraza sedimentaria del Inglés en la dinámica sedimentaria eólica es, como hemos visto, muy relevante. Esta geoforma, totalmente ocupada por la urbanización turística del mismo nombre, condiciona en gran medida el tránsito de los sedimentos, desde el área de entrada hacia el interior del sistema dunar. Como se ha señalado en el apartado anterior, este obstáculo actúa, parcialmente, como “trampa” para los sedimentos que acceden desde el estrán, favoreciendo su acumulación al pie del talud de barlovento.

Por lo tanto, en este momento, la urbanización del Inglés supone una pantalla que impide a los sedimentos atravesar la plataforma superior de la terraza, tal y como ocurriera en el pasado.

4.4.4.1. El vértice Sur (B5)

El vértice sur de la terraza del Inglés, constituye, desde el punto de vista de la dinámica sedimentaria, un vórtice sobre el que giran los sedimentos, adquiriendo unas morfologías particulares. De este modo, las formas dunares realizan un giro de 90° para adentrarse hacia el interior del sistema, sorteando el obstáculo que supone la terraza. Las dunas se configuran, en este punto, como grandes acumulaciones de arena en forma de herradura, o dunas de vértice, cuyas crestas se orientan, progresivamente, en la dirección NO-SE. Estas acumulaciones de arena permiten el mantenimiento de la dinámica

sedimentaria eólica en la parte media el sistema interior, es decir, el sector de las hoyas (C7).

Este sector experimenta una leve reducción en el intervalo comprendido entre 1998 y 2000, dado que ocupa una extensión de 7,4 ha en la primera fecha señalada, mientras que en el año 2000 esta superficie se ha reducido a 7 has, por lo que pierde 4.000 m².

4.4.5. El interior del sistema (C)

Una parte de esta unidad se localiza a sotavento de la terraza del Inglés, por lo que la carencia de aportes sedimentarios, y de vientos efectivos, facilita la estabilización de los sedimentos y, con ello, el crecimiento de la vegetación. Este aspecto incide, igualmente, en la fijación de las formas dunares preexistentes. Pero al mismo tiempo, y según nos desplazamos hacia el sur, presenta la mayor llanura de deflación del sistema, así como importantes acumulaciones de arenas que avanzan libremente. Esta aparente complejidad se puede explicar a partir de la división realizada en tres subsectores, cada uno de los cuales tiene un comportamiento diferente en cuanto a la dinámica de las arenas, muy vinculado al papel que ejerce la terraza sedimentaria.

4.4.5.1. El área Norte (C6)

El área norte del interior del sistema, con 65,8 has, se localiza inmediatamente a sotavento de la terraza sedimentaria, siendo ésta su límite oriental, y el barranco de Maspalomas su límite occidental. Se configura como una franja alargada de terreno, con unos 1.650 metros de longitud, en sentido NE-SO, por 455 metros de anchura, en sentido NO-SE.

En este sector se identifican una gran cantidad de formas dunares estabilizadas por la vegetación, sobre todo por especies estacionales de porte herbáceo (*Cyperus kalli*, *Ononis serrata* y *Neurada procumbens*), cuyos sistemas radiculares son muy extensos y superficiales. También aparecen ejemplares de *Tamarix canariensis* de porte arbóreo,

formando ocasionalmente agrupaciones o bosquetes, así como otras de porte arbustivo (*Launaea arborescens*, *Plocama pendula*).

Prácticamente no se identifican formas dunares móviles, reduciéndose su presencia a unos retazos residuales cercanos a la urbanización del Inglés, como el Alto de la Hoya de la Camella y el Alto de la Hoya Quemada. En estos enclaves se localizan relictos de antiguas dunas transversales, hoy convertidas en acumulaciones de arena que, aunque mantienen rasgos barjanoides, no responden a un patrón tipificado. Estas geoformas se muestran parcialmente colonizadas por la vegetación, aunque mantienen áreas activas, dos de las cuales nos han servido como referencia para el seguimiento realizado sobre la velocidad de desplazamiento de las dunas. Aparte de estos enclaves, ocasionalmente aparecen formas que denotan un porcentaje reducido de movilidad del sedimento, como rizaduras. Hasta 1998, era posible identificar, entre las dos localizaciones citadas, algunas geoformas libres; sin embargo, en 2000, estas zonas ya aparecen colonizadas por la vegetación.

Aparte de los cambios ya comentados, se aprecian muy pocas diferencias entre los documentos relativos a estos años. No obstante, resulta significativo el ligero incremento que experimenta el área de dunas estabilizadas, en detrimento del vértice sur de la terraza del Inglés (B5).

4.4.5.2. El sector de las hoyas (C7)

Este sector, con 47,1 has, constituye el área intermedia del sistema dunar, y se encuentra bajo la influencia de la sombra eólica que proyecta la terraza del Inglés. Por este motivo, su única fuente de alimentación sedimentaria son los depósitos de arenas situados en el vértice sur de la terraza (B5). Éstos mantienen, todavía, la capacidad de movilizarse hacia el interior del sistema, donde se observan varias cuestiones que se hace necesario comentar: la primera, lo limitado que resultan los aportes, de los que se deriva un volumen de sedimento en tránsito también limitado, por lo que las formas dunares

responden a morfologías de escaso tamaño. Al tiempo, la vegetación muestra un importante desarrollo, por lo que estos aportes ven obstaculizado su avance, produciéndose importantes acumulaciones en los primeros tramos y, por ello, carencia de sedimentos en las áreas más alejadas de la fuente de origen. Por último, la presencia de un flujo eólico capaz de movilizar los sedimentos, produce, en estas áreas intermedias y finales, procesos de deflación que se manifiestan en la aparición del sustrato, así como en el desarrollo de una amplia llanura de deflación que deja al descubierto arenas humedecidas por capilaridad.

En cuanto a la vegetación, al igual que en el área norte del interior del sistema (C6), se caracteriza por la presencia de ejemplares de *Tamarix canariensis* que, con regularidad, forman bosquetes. Sin embargo, a diferencia de aquélla, las especies herbáceas son casi inexistentes y, en cambio, aparecen otras (*Suaeda vermiculata*, *Launaea arborescens*, *Schizogyne glaberrima*, *Phoenix canariensis*), de porte arbóreo o arbustivo.

Considerando el conjunto de la unidad, desde la terraza del Inglés hasta la desembocadura del barranco, se distinguen diferentes dinámicas. En su avance inicial, las acumulaciones sedimentarias se configuran, morfológicamente, como grandes dunas móviles con rasgos barjanoides, que se mueven de forma independiente unas a otras, sin formar estructuras compuestas ni cordones transversales. Entre ellas se presentan amplios espacios interdunares, donde aflora, esporádicamente, el basamento. El tránsito de la arena hacia el interior se realiza cubriendo los ejemplares de *Tamarix canariensis*, por lo que se produce una lucha entre ambos elementos. La única estrategia de estos individuos vegetales es crecer hasta superar las crestas de las dunas, garantizando, así, la supervivencia del espécimen. En este proceso, desde las partes cubiertas, crecen raíces, por lo que, tras el paso de las dunas, éstas retienen una gran cantidad de sedimentos, configurando “lomas” vegetadas. Este hecho es de gran interés para comprender lo que sucede, en la dinámica sedimentaria, una vez pasado este primer sector.

Así pues, y según las formas dunares se reducen en número y tamaño ante el obstáculo de la vegetación, nos desplazamos hacia el sector occidental. En el área media, las arenas únicamente consiguen rebasar los ejemplares vegetales sorteándolos por entre los pasillos que quedan entre los bosquetes, perdiendo, una vez más, arenas en este tránsito y configurando acumulaciones a sotavento. De esta forma, quedan al descubierto, en los amplios espacios interdunares, los materiales geológicos de la base sobre la que se desplazan las arenas. Éstos están caracterizados, en el tramo medio, por el dominio de calcarenitas. Del mismo modo, se localiza el afloramiento de un antiguo nivel marino, clasificado por el I.T.G.E (1990) como depósito de arenas y cantos, “rasa” Erbarensis y que, en nuestro caso, conforma el límite con el sector sur de este sistema interior (C8).

El final del tránsito sedimentario hacia la Charca de Maspalomas, se realiza de una forma muy reducida, de tal manera que, entre los años 1998 y 2000, las únicas geoformas de acumulación relacionadas con la dinámica sedimentaria eólica son pequeñas dunas barjanas y láminas de arena. Por ello son frecuentes en esta zona los afloramientos de materiales geológicos del sustrato: calcarenitas, similares a las señaladas, en el primer tramo, que poco a poco dejan paso a materiales aluviales muy heterométricos, con presencia de arcillas. Estos afloramientos ocupan amplias superficies continuas entre las escasas dunas móviles. Así mismo, aparecen algunas hoyetas encharcadas, donde se alcanza el nivel freático, y que dan nombre a todo el sector. Hacia el sur, algunos de estos afloramientos se corresponden con depósitos aluviales, con estructuras lineales, alternativamente elevadas y hundidas y canales anastomosados, lo que indica anteriores trayectorias seguidas por el barranco. Justamente en esta zona se produce el contacto con los materiales que se encuentran más directamente afectados por la capilaridad de agua marina, dando lugar a la mayor llanura de deflación de todo el sistema dunar.

Esta depresión interior presenta una amplia extensión, donde las arenas están húmedas a escasa profundidad y presentan una costra salitrosa en superficie, sobre la que las arenas secas móviles quedan atrapadas en gran proporción. A poniente de esta llanura, en 1998,

era posible observar otra similar, de escaso tamaño, pero que ha doblado su superficie en el año 2000. A pesar de que ésta última se localiza en otra unidad sedimentaria eólica, el sector oriental del barranco de Maspalomas (D9), se ha considerado oportuno explicarla en este punto. Pues, en conjunto, ambas llanuras experimentan un aumento de superficie entre estos años observados y, si en 1998 ésta era de 5,23 has, en el año 2000 es de 6,01has.

4.4.5.3. El área Sur (C8)

Situado al sur del sector de las hoyas (C7), y a poniente del área sur de la franja del Inglés (A2), este sector, con 60,9 has, se corresponde con el espacio que presenta mayor cantidad de arenas móviles, jugando el papel de área terminal en el recorrido de los sedimentos.

Su delimitación está determinada, en su origen (en contacto directo con el vértice sur de la terraza del Inglés –B5-), por ser el punto de confluencia de los sedimentos provenientes del sector norte de la franja del Inglés (A1), con una dirección NNE-SSO, y los que llegan desde el sector sur de la misma (A2), con una dirección E-O. A partir de que alcanzan este punto, los sedimentos adquieren la dirección de los vientos dominantes, NE-SO, tal y como lo demuestra la forma de los espacios interdunares, alineados transversalmente a esta dirección.

Las formas dunares que adquieren son las de cordones transversales bien definidos, con anchuras medias de entre 90 y 110 metros, y amplios espacios interdunares intercalados. Éstos últimos se caracterizan por tener arenas húmedas en la base y costras salinas en superficie. Su extensión ronda el 10% de la totalidad del área, siendo, conforme a su superficie total, de 6,6 has para el año 1998, y de 7,65 has para el año 2000. En estos espacios la especie más representativa es *Cyperus lauvigatus*, a las que hay que unir, en los espacios interdunares más cercanos a la terraza del Inglés, algunos ejemplares de *Tamarix canariensis* y, en la Cañada de la Penca, *Traganum moquini*.

Tras recorrer esta área, los sedimentos alcanzan la playa de Maspalomas, terminando así su tránsito por el sistema. Los depósitos dunares que se asoman a la playa de Maspalomas, aparecen, ocasionalmente, y bajo un régimen de vientos del SO, acantilados por la erosión mareal. En muchos casos, cuando coinciden estas situaciones de erosión con mareas altas, el mar consigue entrar por entre los espacios interdunares, alcanzando, a veces, la llanura de deflación.

4.4.6. El sector occidental (D)

Siendo en el pasado el sector donde finalizaba el recorrido de los sedimentos a través del sistema dunar, en la actualidad su actividad se reduce a la de un área residual, desde el punto de vista de la dinámica sedimentaria eólica. Por ello, en todo el sector no se localizan grandes acumulaciones de arena, limitándose su presencia a pequeños enclaves de diversa movilidad: unos situados en el área oriental del barranco de Maspalomas-Fataga (D9), y otros, con escaso volumen de sedimento, en el entorno de la playa de Maspalomas (D10), que llegan a formar algunos cordones transversales.

4.4.6.1. El área oriental (D9)

Es un área de reducidas dimensiones (12,34 has), que se encuentra en contacto directo con el norte de la Charca. En la actualidad, se localizan escasos sedimentos móviles formando depósitos dunares, aunque sí aparecen áreas donde el sedimento móvil adquiere otras formas. Con respecto a los primeros, al norte de este sector se localiza una duna barjana perfectamente definida, que avanza a una velocidad considerable, y que, en estos años ha alcanzado la masa de vegetación que se ubica en un brazo abierto a la charca de Maspalomas en 1999. Su frente es de unos 4 metros de altura por unos 12 metros de anchura, y se caracteriza por presentar una pendiente escasa en la cara de barlovento. En ésta se acumulan, adquiriendo formas diversas, los escasos sedimentos que consiguen llegar hasta aquí, procedentes del aporte terminal del sistema interior septentrional (C6).

Al sur de ésta, y al este del bosque vegetal que caracteriza el mencionado brazo de la Charca, se ubica una forma de acumulación sedimentaria muy particular: se trata de una amplia lámina de arena con pendiente ascendente hacia el oeste, presencia de arenas particularmente groseras, y un alto contenido en material organógeno. Esta forma se convirtió en una de las claves utilizadas para la identificación de procesos de deflación, durante la realización del Plan Director de la Reserva, por cuanto presenta una reflectividad espectacularmente alta en todas las bandas del sensor ATM. Ya en aquel momento se planteó la posibilidad de que se tratase de un área que presentaba un proceso de desmantelamiento de su nivel superficial, por lo que estarían quedando al descubierto los materiales que conforman los antiguos depósitos sedimentarios. En el origen de este proceso está una importante carencia de aportes sedimentarios, dado que se sitúa a sotavento del espacio interior septentrional (C6), donde éstos están estabilizados, y a poniente del sector de las hoyas (C7), cuyo margen occidental ya denota una importante carencia sedimentaria, por la aparición del material que conforma el basamento y la presencia de la llanura de deflación.

Durante los años observados (1998 y 2000) se han podido comprobar las huellas de los procesos de deflación en este sector. Éstas se identifican por tres hechos significativos: en primer lugar, por la cantidad de raíces de plantas que quedan al descubierto, lo que denota la ruptura del equilibrio sedimentario: se pierde más arena de la que se gana. En segundo lugar, por la aparición paulatina de depósitos de arenas carbonatadas (eolianitas), previsiblemente producidos, en el pasado, por la existencia de una laguna costera en el sector oriental (C7), y que se encontraban cubiertos de arena hasta hace escaso tiempo. Por último, la nueva llanura de deflación que ha aparecido desde el año 1998 al este de estos depósitos, denota, igualmente, una pérdida considerable de sedimentos.

Por todo ello, podemos afirmar que esta área se configura como residual, en relación a la dinámica sedimentaria eólica del sistema, por cuanto presenta formas dunares terminales, sin continuidad, así como importantes procesos de deflación eólica.

4.4.6.2. Entorno de la playa de Maspalomas (D10)

Representa otra de las áreas que ha adquirido un carácter “relictico” con respecto a la dinámica sedimentaria. Con una extensión de 17,12 has, se sitúa en el extremo sur del sistema, formando parte del área por el que se producía, en el pasado, la salida de buena parte de los sedimentos. Al reducirse los aportes de arena en las unidades de las que se alimentaba (C7 y C8) actualmente presenta un carácter residual. Sin embargo, en este enclave se produce un hecho inusual: en el área más cercana a la línea de costa, el tránsito de los sedimentos, que observábamos en el sector sur de la franja del Inglés (A2), con una dirección E-O, vuelve a hacer acto de presencia. La hipótesis que podría explicar este hecho es que ese recorrido se mantenga desde el Inglés (A2), aunque con una mínima influencia, a través del sector sur del sistema interior (C8). Así, el viento, con esa dirección E-O, conseguiría desplazar algunos sedimentos que serían depositados en la playa de Maspalomas.

No obstante, la escasa altura de los depósitos sedimentarios, que se localizan en las cercanías a la línea de costa, ratifican el carácter marginal de esta zona. Estos depósitos se presentan formando estrechos cordones transversales, de escasa anchura (entre 35 y 45 metros), con importantes espacios interdunares que, en 1998, alcanzan una superficie de 0,84 has y, en 2000, 1,04 has. Por su parte, hacia el interior, en las cercanías del bosque que se localiza junto al brazo oriental de la Charca, aparece un cordón dunar que, al igual que ocurre ineditamente al norte (D9), presenta escasa movilidad, al tiempo que carece de nuevos aportes sedimentarios.

443.000

3.069.500



Legenda

UNIDADES SEDIMENTARIAS EÓLICAS

- A1 Franja del Inglés. Sector Norte
- A2 Franja del Inglés. Sector Sur
- B3 Terraza sedimentaria. Sector Sur
- B4 Terraza sedimentaria. Sector Oeste
- B5 Terraza sedimentaria. Vértice Sur
- C6 Sistema interior. Área Norte
- C7 Sistema interior. Área de las hoyas
- C8 Sistema interior. Área Sur
- D9 Área oriental del Barranco
- D10 Entorno de la Playa de Maspalomas
- D11 Barranco y oasis

ACTIVIDAD SEDIMENTARIA EÓLICA

- Actividad actual
- Actividad actual reducida
- Actividad residual con aportes
- Actividad residual terminal
- Inactividad

MODELADO EÓLICO

FORMAS LIBRES

- Dunas barjanas
- Cordones barjanoides transversales
- Láminas de arena

CONDICIONADAS POR LA TOPOGRAFÍA

- Dunas rampantes
- Dunas eco
- Dunas descendentes
- Dunas piramidales
- Dunas en herradura (de vértice)

CONDICIONADAS POR LA VEGETACIÓN

- Acumulaciones a sotavento
- "Lomas" vegetadas
- Dunas vegetadas

OTRAS

- Acumulaciones indiferenciadas
- Acumulaciones eólicas antiguas
- Cordones litorales
- Pavimentos de cantos
- Espacios interdunares
- Llanuras de deflación
- Pasillos de sombra eólica
- Dirección del movimiento de la arena

ELEMENTOS ANTRÓPICOS

- Puesto de la Cruz Roja
- Kioscos de playa
- Goros cortaviento



4.5. Funcionamiento actual del sistema dunar (1998-2000)

Se procede, a continuación, a establecer el modelo explicativo del funcionamiento del sistema dunar en la actualidad. Para ello, se han tenido en cuenta los antecedentes establecidos por otros autores. Dado que nuestro análisis se restringe al campo de dunas, será en este espacio en el que realizaremos aportaciones, considerándolas complementarias de las ya planteadas por otros investigadores.

4.5.1. Antecedentes

Atendiendo a los antecedentes bibliográficos, la relación existente entre la movilidad de los sedimentos y la disponibilidad de vientos efectivos, permite determinar el modelo “natural” de funcionamiento del sistema. A estos aspectos hay que añadir las intervenciones humanas, para poderlo comprender de forma integrada. El primer aspecto a tratar es la caracterización de la dinámica geomorfológica, o movilidad de las dunas, indicador básico del modelo de funcionamiento del sistema. Pero ésta requiere ser tratada tanto desde un punto de vista sincrónico como diacrónico, considerando los cambios ocurridos entre una serie de años. Por ello, en este capítulo trataremos ambos aspectos de forma conjunta: la dinámica anual y la multianual.

Por lo que respecta al modelo de funcionamiento anual del sistema, considerando el transporte de sedimentos, hemos de remitirnos inicialmente a los trabajos de investigación realizados por Martínez y colaboradores; dado que, hasta fechas recientes, no existen otros estudios donde se aborde esta temática considerando globalmente todo el sistema. No será hasta 2001 que sus planteamientos serán corregidos parcialmente (Alonso *et al.*, 2001a y 200b).

Para entender el modelo de funcionamiento propuesto, debemos considerar las diferentes áreas que configuran este espacio, así como el papel que cada una de ellas desempeña en esta dinámica. En este sentido, para Martínez (1990), Maspalomas constituye una provincia morfodinámica. Es decir, un litoral que sustenta a un conjunto de playas, entre

las que se establece un flujo sedimentario, de tal forma que las alteraciones de ese flujo repercutirán en las morfologías de los depósitos situados aguas abajo, definiendo este último término de acuerdo con la componente longitudinal “teórica” del oleaje dominante. Esta provincia, que se extiende desde Morro Besudo hasta el Faro de Maspalomas, presenta una longitud de costa de 8,5 km, y está definida por cinco ambientes. De norte a sur, y siguiendo la línea de costa, los cuatro primeros son: playa de Las Burras, playa del Inglés, punta de la Bajeta y playa de Maspalomas. El último ambiente lo constituye el campo dunar de Maspalomas.

El esquema planteado, para interpretar el ciclo sedimentario del sistema, está directamente relacionado con el comportamiento de cada uno de los ambientes señalados. Éste se define de acuerdo a la forma que presentan, a su ubicación con respecto a los vientos dominantes y las corrientes marinas y, por último, de acuerdo a un análisis sobre los cambios acaecidos en el sistema, tanto desde una perspectiva multiestacional como multianual.

Con respecto a esta última, Martínez *et al.* (1989) realiza un ejercicio de fotointerpretación con documentos relativos a 1961 y 1977, al que se añadirán, posteriormente, fotogramas más recientes, hasta 1991. Tras él, concluye que la punta de la Bajeta experimenta un considerable avance hacia el mar, cuantificándolo en unos 400 metros para un período de 16 años.

Este autor explica que esta evolución se encuentra estrechamente vinculada con las variaciones estacionales del propio sistema y, donde los cambios en la frecuencia y dirección del viento juegan un papel esencial. En este sentido, establece que en la playa del Inglés, y en la punta de la Bajeta, los procesos de acreción tienen lugar en la segunda mitad del invierno e inicio de la primavera, correspondiendo con la menor actividad del alisio, de las brisas marinas, así como con la mayor frecuencia del “tiempo sur” (vientos de componente SO). Así mismo, el oleaje inducido por el alisio, aunque debilitado, se

deja sentir en estas playas a finales de la primavera y durante el verano. En este sentido, si no estuviera debilitado, determinaría la máxima erosión poco antes de concluir su período de mayor apogeo. En otoño, por tanto, se desarrolla la erosión, al entrar en juego las brisas marinas potenciadas, junto con los temporales del sur.

En relación a los vientos y oleaje, establece que en la playa del Inglés, y punta de la Bajeta, los procesos de erosión están en estrecha dependencia de las brisas marinas otoñales potenciadas, y del alisio ligado a los temporales de primavera. Así, la máxima erosión se refleja cuando culminan las situaciones referidas, es decir, en primavera, y dependen de los transportes originados por el oleaje del NE, a pesar de ser menos frecuente. En la playa de Maspalomas, por el contrario, los procesos erosivos están condicionados por el oleaje S-SE (Martínez *et al.*, 1987).

Considerando el papel de cada uno de los ambientes señalados, este autor establece que la convexidad que presenta la punta de la Bajeta, observada desde el mar, implica la formación de flechas anuales y morfológicamente atípicas, que se forman durante la primavera, cuando se produce la erosión de la playa de Maspalomas. Posteriormente, a finales del verano y principios del otoño, se forma un *lagoon*, que se colmata, al tiempo que se recorta la orilla externa de la flecha anual, cuando tiene lugar la erosión de la playa del Inglés y los transportes longitudinales hacia el sur. Como resultado de la yuxtaposición de flechas recortadas y colmataciones de sus respectivos *lagoons*, se produce un avance neto de la orilla hacia el mar, que estima en 11,5 m/año. Así mismo, el progreso de la orilla, y la delimitación de las flechas, están condicionadas por la presencia de un cañón submarino, que actúa como un sumidero sedimentario (Martínez *et al.*, 1989; Martínez, 1990; Martínez y Casas, 1992).

Por su parte, la tendencia al retroceso que presenta la playa de Maspalomas estaría motivada por una rotura del perfil de equilibrio. Dada su situación geográfica, la acreción se produce en verano, y concluye al inicio del otoño. En este período de tiempo, la playa

está sensiblemente resguardada del oleaje del alisio, que llega muy difractado, y los temporales del sur no tienen lugar. Así, las acumulaciones netas alcanzan sus máximos desarrollos antes de que aparezcan las brisas marinas potenciadas y los temporales del sur. Sin embargo, a principios de la primavera se hacen patentes las pérdidas, como culminación del proceso erosivo que se inicia en otoño.

Dado que esta autor considera que la orilla se encuentra en retroceso (cuestión que se determina a partir del análisis multianual), establece que los aportes son menores que las pérdidas en la franja intermareal. Sin embargo, esta pérdida sería mayor si Maspalomas no contase con aportes externos. Los índices de capacidad de sustentación sedimentaria, calculados para los períodos significativos de acreción y erosión, indican un permanente superávit moderado, que es explicado por el papel del campo dunar como “despensa sedimentaria” del sistema (Martínez y Casas, 1992), por lo que los efectos de la erosión intermareal se encuentran amortiguados por la retroalimentación que se realiza desde este campo, sobre todo después de los "temporales del sur", cuando se produce una pérdida importante de sedimentos en el sector.

Considerando todos estos datos conjuntamente, Martínez (1990) establece un ciclo sedimentario que comienza en la playa del Inglés, a partir de los aportes significativos de las áreas situadas al norte, como la playa de Las Burras. El transporte es posible por las corrientes longitudinales próximas a la orilla, que dependen del oleaje del NE. Siguiendo esta misma dirección, se produce el transporte de los sedimentos al campo de dunas de Maspalomas. Desde aquí, los sedimentos, siempre siguiendo la dirección marcada por los vientos dominantes, llegan a la playa de Maspalomas, amortiguando, así, las pérdidas de arenas en este sector. Desde aquí, las corrientes de deriva serán las responsables de transportar parte de la arena a la punta de la Bajeta, donde se produce un crecimiento en forma de flecha, mitigado por la existencia del cañón submarino. De esta manera quedaría cerrado el flujo sedimentario.

En 1995, este esquema es utilizado para justificar lo inapropiado que resultaría proceder a la extracción de arenas en algún ámbito cercano a la playa de Maspalomas, toda vez que se rompería la pendiente de equilibrio del banco de arenas y, con ello, surgiría la necesidad del sistema de atraer arenas de otros sectores, en un intento por recuperar las pérdidas. Las que se produjeran en Maspalomas, acentuarían la inestabilidad interna del sistema, al abocar al campo de dunas a reforzar su papel de despensa alimentaria de arenas a la playa, para desacelerar el retroceso de la orilla hacia tierra. En esta lógica, la playa del Inglés tendría que responder, a su vez, al requerimiento de arenas “solicitado” por el campo de dunas. En caso de que la respuesta a ello fuese positiva, se produciría un retroceso en esta playa; pero en caso de que fuese negativa, el campo de dunas podría verse menguado o desaparecer (Martínez *et al.*, 1995).

En conclusión, y atendiendo a las repercusiones ambientales, según este modelo, la playa de Maspalomas muestra, de forma natural, un carácter erosivo y una clara tendencia a la regresión, frente a la del Inglés, que parece estable. Tal tendencia a la inestabilidad se habría visto agravada en las décadas de los 70 y 80, como consecuencia de la interacción humana en el sistema, que habría generado la reducción de recursos sedimentarios en el sector occidental del campo dunar. Así, se detecta un aporte de sedimento bloqueado en la playa de las Burras, que estaría influyendo en la dinámica de las dunas de Maspalomas, con el riesgo de romper su equilibrio sedimentario. En parte, este bloqueo estaría motivado por los diques construidos en 1966 (Martínez *et al.*, 1996).

Este hecho se vería confirmado por el incremento de sedimentos en otro punto significativo de este espacio, la punta de la Bajeta (o punta de Maspalomas), situada en el sector suroriental. A partir del análisis de fotogramas relativos a distintas épocas, esta punta mostraría una evolución significativa en los últimos años, en forma de un crecimiento progresivo hacia el mar. Éste, que se cifraba en 11,5 m por año, respondería a un aumento en las tasas de erosión de la playa de Maspalomas (Martínez, 1990).

Este modelo de funcionamiento del sistema dunar ha sido corregido muy recientemente. Así, las conclusiones relativas a la evolución al comportamiento de las playas y de la punta de la Bajeta fueron corregidas por Alonso *et al.* (2001a y 2001b). Estos autores, a partir de análisis sedimentarios, y superposición de cartografía digital de la costa, establecen que las variaciones en la punta de la Bajeta son debidas exclusivamente a los cambios estacionales, sin que existan, por tanto, datos que indiquen un crecimiento progresivo de este sector. Por otra parte, a partir de las conclusiones aportadas en el *Informe sobre los Impactos Ocasionados por los kioscos de Playa del Inglés* (Hernández *et al.*, 2002), se muestran unas serias pautas de inestabilidad sedimentaria en el área por donde se produce la entrada de sedimentos en el sistema, la playa del Inglés.

4.5.2. Funcionamiento del sistema

Considerando de forma conjunta la información presentada en los capítulos precedentes, los resultados obtenidos en esta investigación permiten realizar una primera aproximación al funcionamiento actual del sistema dunar. Lo que se expone en este capítulo tiene todavía el carácter de modelo teórico y descriptivo, por cuanto su demostración requiere del análisis multianual que se presentará en el capítulo siguiente. En cierta forma, representa un diagnóstico previo de la situación actual, donde se detectan un conjunto de síntomas. La búsqueda de sus causas es precisamente lo que orienta el análisis de la evolución experimentada por el sistema entre 1960 y la actualidad.

La exposición que se realiza a continuación tiene como hilo conductor la secuencia comprendida desde la entrada de los sedimentos en el sistema, hasta el final de su recorrido.

Tal y como se ha señalado, la entrada de los sedimentos se produce por la playa del Inglés, empujados por los vientos alisios. Estos vientos son dominantes en cuanto a frecuencias, aunque por muy escaso margen de los del O, y presentan las mayores velocidades medias. No obstante, hay variaciones estacionales significativas: los vientos

de componente NE presentan su mayor frecuencia desde la segunda mitad del otoño hasta la primera de la primavera; mientras que los del O lo hacen desde la segunda mitad de la primavera hasta la primera del otoño, existiendo, así, dos épocas de transición.

Así, la entrada de los sedimentos en el sistema se realiza, bajo el dominio de los vientos alisios, con una componente NE en el sector norte de la franja del Inglés, pero con una componente E en el sector sur, debido a la influencia que ejerce, en la dirección de los vientos, la topografía de la isla. Ello se constata en las diferencias que presentan las direcciones de los espacios interdunares en los sectores indicados.

Los sedimentos, una vez secados en el estrán de la playa, inician su avance hacia la playa alta, donde se ven condicionados, en su recorrido, por la existencia de obstáculos naturales y humanos. Por lo que respecta a los primeros, se trata de ejemplares de *Traganum moquinii*, que atrapan parcialmente las arenas, y crean las primeras acumulaciones a sotavento. Los segundos son los equipamientos de playa con destino turístico (kioscos, hamacas y sombrillas), así como los goros cortaviento que los usuarios construyen en el sector sur de la playa del Inglés. Estos elementos humanos también atrapan las arenas, al tiempo que generan procesos de deflación eólica.

Las únicas formas que denotan la acumulación de sedimentos en los primeros tramos, desde la playa alta hacia el interior del espacio, son dunas barjanas y láminas de arena. El tamaño de las primeras se reduce considerablemente según nos desplazamos hacia el sur. Así, mientras que en el norte presentan una altura, desde la base hasta la cresta, de unos 2,5 a 3 m; en el sur se reducen a someras acumulaciones comprendidas entre 0,5 y 1 m. Estas formas se desplazan sobre amplias superficies de deflación, que experimentan un aumento significativo entre los años estudiados, lo cual parece indicar un déficit de entrada de sedimentos en el sistema.

El único sector que no presenta estas formas de deflación es el situado más al norte. En él juega un papel determinante la terraza sedimentaria del Inglés, urbanizada en su totalidad, pues supone una barrera que atrapa las arenas en aquel sector, posibilitando el desarrollo de acumulaciones dunares que no presentan un patrón formal neto. De igual forma, también se localizan acumulaciones de sedimentos al pie del talud oriental de la terraza.

Conforme nos desplazamos hacia el sur, asistimos al segundo papel atribuible a esta gran geoforma, en relación con la dinámica de los sedimentos: el giro que propicia en los vientos (efecto esquina), por lo que las formas dunares, igualmente, se ven condicionadas y giran hacia el sur, presentándose perpendiculares a la dirección NNE-SSO.

A su vez, el vértice sur de esta terraza (B5) representa el contacto entre los ámbitos exterior e interior del sistema. En este punto los sedimentos experimentan un nuevo giro, como resultado del vórtice que se genera, de modo que se identifican formas de acumulación sedimentarias que se orientan en una dirección contraria a la de los vientos efectivos. Su superficie ha experimentado una reducción durante los años observados, lo que significa, igualmente, una reducción de los aportes hacia las áreas interiores del sistema: estas acumulaciones garantizaban, parcialmente, la alimentación de sedimentos en la unidad intermedia del sistema, el sector de las Hoyas (C7), área que también muestra claros signos de estar recibiendo un menor volumen de sedimentos.

En este sector de las Hoyas las arenas también son retenidas, debido a la presencia de una vegetación de porte arbustivo y arbóreo, que se han desarrollado favorecidas por la existencia de materiales aluviales con alto contenido en arcillas, y por la proximidad a la superficie del nivel freático. En este sector se localiza la llanura de deflación más amplia de todo el sistema, que experimenta un crecimiento en los años observados, previsiblemente como consecuencia de la reducción de aportes en el vértice sur de la terraza del Inglés (B5). De ello se deduce que la pérdida sedimentaria se está produciendo de forma generalizada en la totalidad del sistema.

El sector (C6), que se sitúa al norte del anterior y a sotavento de la terraza del Inglés, casi no presenta formas dunares libres, reduciéndose éstas a algunos enclaves residuales. Este hecho, unido a la existencia de una gran cantidad de dunas, hoy estabilizadas por una densa cobertura vegetal de especies estacionales, denota que en el pasado la actividad sedimentaria fue muy importante. La reducción drástica de la afluencia de arenas se identifica, igualmente, en el área (D9), que se localiza a poniente del sector de las hoyas, hoy convertido en arenal relíctico.

Al sur del sector de las hoyas, se localiza el área (C8) que presenta el mayor volumen de arena en tránsito de todo el sistema. En ella las dunas se desplazan libremente, al converger los sedimentos provenientes del sector norte de la franja del Inglés (A1), que se dirigen hacia el SSO, con los que lo hacen desde el sector sur (A2), con una dirección E-O. Las formas dunares mantienen la dirección que marcan los vientos alisios, NE-SO, adentrándose en el mar por la playa de Maspalomas. La mayor parte de los sedimentos lo hace por su área oriental, hasta el punto conocido como Cañada de la Penca. A unos 500 metros de este enclave, se establece el límite entre dos ambientes: el de los sedimentos que siguen la dirección indicada, y los que lo hacen con una dirección E-O. Éstos últimos parece que sostienen la existencia del sector occidental de la playa de Maspalomas.

El retorno de los sedimentos, hacia el sector que funciona como área de entrada en el sistema (A), se realiza gracias a la dinámica marina: de esta forma, el oleaje del O, dominante entre la segunda mitad de la primavera y la primera de otoño, sustrae los sedimentos de la playa de Maspalomas, donde las dunas aparecen acantiladas por la erosión mareal. Ocasionalmente, el mar invade las áreas interiores, adentrándose por entre los espacios interdunares. En la segunda mitad del otoño, viento y oleaje invierten su procedencia, por lo que comienza la re-entrada de sedimentos en el sistema, desde la playa del Inglés, ciclo que se inicia con la formación de un *lagoon* en el sector sur de la franja del Inglés (A2).

A modo de conclusión, y considerando la dinámica de los sedimentos, todo parece indicar que el ciclo sedimentario en este sistema dunar es aparentemente cerrado, hecho que ya ha sido señalado por varios autores (Martínez, 1990; Martínez *et al.*, 1986; Martínez *et al.*, 1992; Alonso *et al.*, 2001a y 2001b). Sin embargo, los cambios que experimenta el sistema durante el corto período observado, desde 1998 a 2000, parecen indicar que el equilibrio sedimentario se encuentra roto, por lo que salen más sedimentos del sistema de los que entran. Estos cambios son, principalmente, el crecimiento de las llanuras de deflación (en A y C7); el aumento de la distancia entre el primer cordón dunar y la playa alta (en A2); la estabilización del sedimento en las áreas interiores del sistema dunar (C6 y C7); la colonización vegetal (C6 y C7); el afloramiento de materiales subyacentes, que conforman el basamento sobre el que se desplazan las dunas (C7); la carencia de nuevos aportes sedimentarios que permitan la alimentación de las formas dunares en los sectores más alejados del área de entrada (C6 y D9) o, por último, la disminución de algunas áreas que funcionan como “almacén” sedimentario (B5), y que garantizaban la alimentación de las arenas hacia el interior.

Determinar si estos cambios son producidos por un ciclo caracterizado por la pérdida de sedimentos, que se haya desarrollado en un período muy corto (entre 1998 y 2000) o si, por el contrario, son producto de un proceso de alteración inducido por la actividad humana, sólo podrá ser establecido a partir de la caracterización del sistema en años precedentes, y de su comparación con el momento actual, cuestiones que se abordan en los dos capítulos siguientes.

CAPÍTULO V. CARACTERIZACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DUNAR DE MASPALOMAS DESDE PRINCIPIOS DE LOS AÑOS 60 HASTA MEDIADOS DE LOS AÑOS 90

Con el fin de comprobar si los cambios observados entre los años 1998 y 2000 en el sistema dunar corresponden a un proceso coyuntural desarrollado en los últimos años o, si por el contrario, forman parte de la evolución estructural de este sistema, se hace necesario abordar ahora el estado en que éste se encontraba en otros momentos anteriores a los estudiados. Para ello, tal y como se explicó en el capítulo II, se ha dividido el estudio en cuatro partes: las correspondientes a los períodos relativos a principios de los años 60, finales de los años 70, finales de los años 80 y, por último, mediados de los años 90. El disponer de esta información permitirá proceder, en el siguiente capítulo, comparar los resultados obtenidos con el fin de dar respuesta a las preguntas planteadas.

Así, este capítulo se estructura en cuatro partes, dedicadas al análisis de la geomorfología y al funcionamiento del sistema en cada uno de los períodos señalados, estudios que se abordan a partir de los documentos aéreos corregidos geoméricamente, tanto fotografías aéreas, como la imagen ATM, para el período relativo a mediados de los años 90. Para principios de los años 60 se cuenta, además, con otras informaciones adicionales, tales como el estado de la vegetación y los perfiles topográficos realizados para 1962.

5.1. Caracterización del área a principios de los años 60

Este primer período supone el punto de partida del análisis y diagnóstico, y se corresponde con el momento en el que aún no se había producido el desarrollo urbanístico del área, asociado al turismo de masas. Por ello, nos encontramos en un espacio que sostiene una presión antrópica menor que la actual, aunque eso no significa que se constaten en él sólo procesos naturales. Muy al contrario, en este espacio se desarrollan actividades humanas tradicionales, tales como la ganadería o la agricultura, que

aprovechan recursos naturales tales como la vegetación herbácea estacional, en el caso de la primera, o la insolación y las cálidas temperaturas medias, en el de la segunda.

Para el análisis de este período se ha contado, como se comentó en párrafos precedentes, con la información aportada por los perfiles topográficos realizados para 1962, así como con los trabajos de vegetación elaborados por Esteve (1968) y Sunding (1972). Los resultados relativos a esta última información, así como a la geomorfología eólica, han sido volcados sobre el documento georreferenciado realizado para esta época. En él también se ha incorporado información procedente de otras fuentes, la mayoría de ellas relativas a los vuelos que el Ejército español realizó en la zona.

5.1.1. Altura de la lámina de arena

Los perfiles topográficos elaborados para 1962 se localizan en las mismas áreas del sistema dunar que los de 1996. De este modo, es posible proceder a la comparación entre los dos momentos estudiados, cuestión que se afronta en el siguiente capítulo.

El perfil elaborado para 1962 en el sector norte de la franja del Inglés (A1) (figura V.1) muestra unas pautas de distribución de la arena muy semejantes a las observadas en 1996. Al igual que aquél, éste presenta una acumulación sedimentaria en este sector, como consecuencia de la interposición de la terraza sedimentaria del Inglés a los vientos y al tránsito de los sedimentos. Esta acumulación tiene una caída hacia la playa del Inglés muy semejante a la observada en 1996, salvo por ligeras diferencias: la primera es la mayor altura que presenta el sedimento en 1962 en las cotas más altas, desde la cornisa de la terraza hasta las primeras acumulaciones; la segunda, la suave pendiente que presenta el perfil más antiguo en toda su caída hacia la playa, a diferencia de lo observado para 1996, con un cambio de pendiente hacia los 300 metros de la línea de costa. La última diferencia observada es la altura media del perfil y, por ello, el volumen de arena: así, en 1962, esta altura media se sitúa en 12,1 metros, lo que nos permite estimar un volumen de

5,97 millones de m³ de sedimentos. Las alturas máximas que se localizan en el sector se establecen en 12,5 metros.

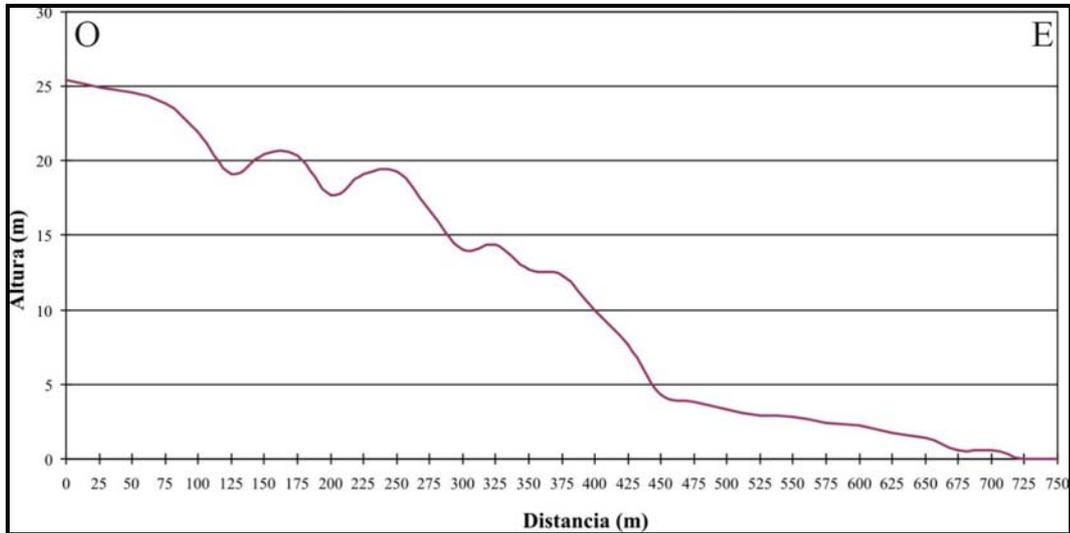


Figura V.1. Perfil altitudinal para el sector norte de la franja del Inglés

El perfil obtenido para el sector sur de la franja del Inglés (A2) (figura V.2) presenta, al igual que el anterior, unas pautas de distribución semejantes al perfil de 1996, aunque con una importante variación en cuanto a la altura del sedimento. De este modo, es posible realizar el mismo recorrido sin apenas encontrar diferencias notables en cuanto a las formas, aunque sí en lo que respecta a las cotas, siendo las máximas observadas de 18 metros. Durante los primeros 500 metros, desde la línea de costa, nos desplazamos por un terreno donde las alturas ascienden hasta los 4,75 m. A partir de este punto entramos en el ámbito de los mayores cordones transversales, por lo que la variación de altura del sedimento es importante, pudiendo localizar grandes acumulaciones sedimentarias, en forma de dunas, que llegan a sobrepasar los 10 m de altura media. Esta altura, para todo el perfil es de 4,59 metros, lo que nos da una cifra cercana a los 3,68 millones de m³ de materiales para todo el sector.

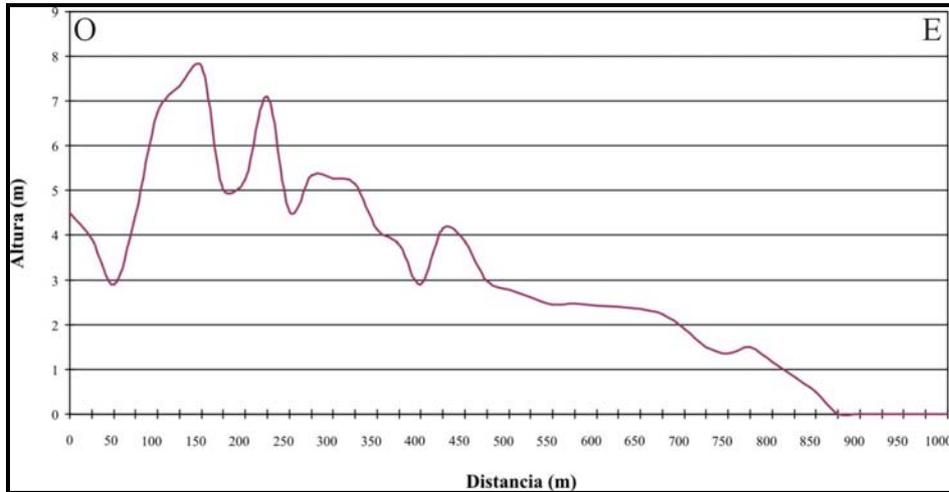


Figura V.2. Perfil altitudinal para el sector sur de la franja del Inglés

Esta misma diferencia la encontramos en el sector sur del interior del espacio dunar (C8) (figura V.3), donde aparece el mayor volumen sedimentario y las mayores dunas libres, que llegan a alcanzar alturas superiores a los 21 metros. En el perfil se repite un esquema muy semejante al observado para 1996, aunque con un aumento considerable en la altura del sedimento, donde algunas crestas sobrepasan los 10 metros de altura media. En conjunto, la altura media se sitúa en los 7,22 metros, lo que nos da un volumen cercano a los 4,4 millones de m³ de materiales para todo el sector.

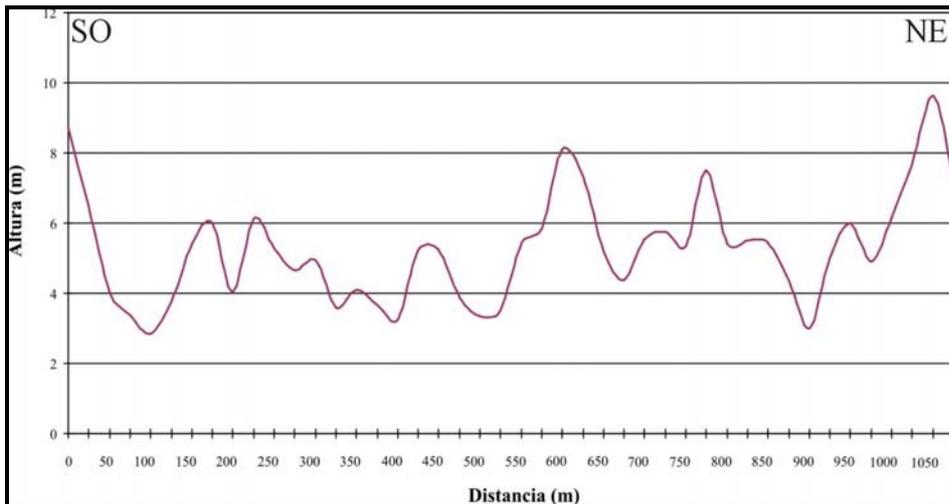


Figura V.3. Perfil altitudinal para el sector sur del sistema interior

El sector norte del interior del espacio dunar (C6) (figura V.4) es el que presenta menores variaciones en cuanto a la altura media del sedimento, en comparación con lo observado en 1996, si bien las formas de acumulación aparecen mejor definidas. De cualquier modo, considerando el punto de arranque del perfil, en el contacto con la terraza sedimentaria, se observa una variación de dos metros favorables a la fecha más reciente, lo que puede estar relacionado con la presencia de la urbanización del Inglés, inexistente en 1962. A este respecto habría que considerar la altura de las construcciones y, así mismo, las obras de desmonte y nivelación que debieron efectuarse para darles cabida. Las alturas máximas corresponden a los Altos del sector occidental, con cotas muy semejantes a las constatadas para 1996, como el Alto del Gato, con 25 metros, o el de la Tabaibilla, con 23,5 metros. En relación a la caída E-O con una suave pendiente, observada en este sector en 1996, en 1962 no es apreciable, salvo en el tramo que se sitúa entre los 300 y los 650 metros tomando como referencia el origen del perfil. En éste, el sedimento experimenta una variación de 3 metros de altura (desde los 12 m hasta los 9 m). La altura media de este sector es de 11,13 metros, equivalente a un volumen cercano a los 7,33 millones de m³ de arena.

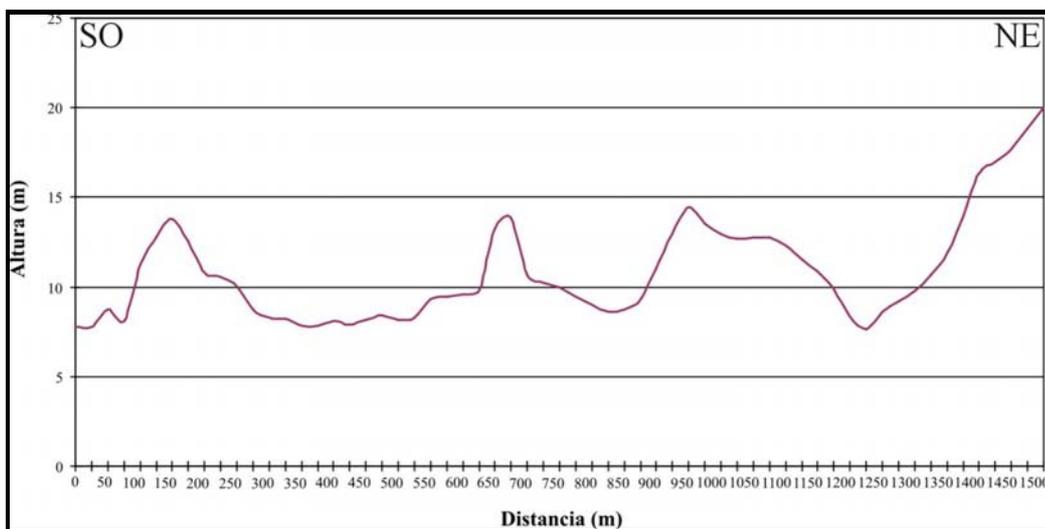


Figura V.4. Perfil altitudinal para el sector norte del sistema interior

El punto de origen NE del perfil correspondiente al sector de las hoyas (C7) (figura V.5), indica la existencia de una acumulación sedimentaria que presenta una altura media cercana a 12 m. Ésta corresponde al vértice sur de la terraza del Inglés, donde aparecen dunas que alimentan de sedimentos a todo el sector. El perfil transcurre a lo largo de un territorio en el que no resulta fácil identificar la alternancia entre dunas y espacios interdunares, salvo en su tramo medio. Sí es posible reconocer la caída que experimenta el perfil desde su origen hasta la cota inferior, cercana a los 3 metros de altitud, en el sector suroriental, que indica el contacto con la llanura de deflación eólica. La altura media del perfil se sitúa en 6,46 metros, lo que nos permite calcular un volumen de materiales algo superior a los 3 millones de m³.

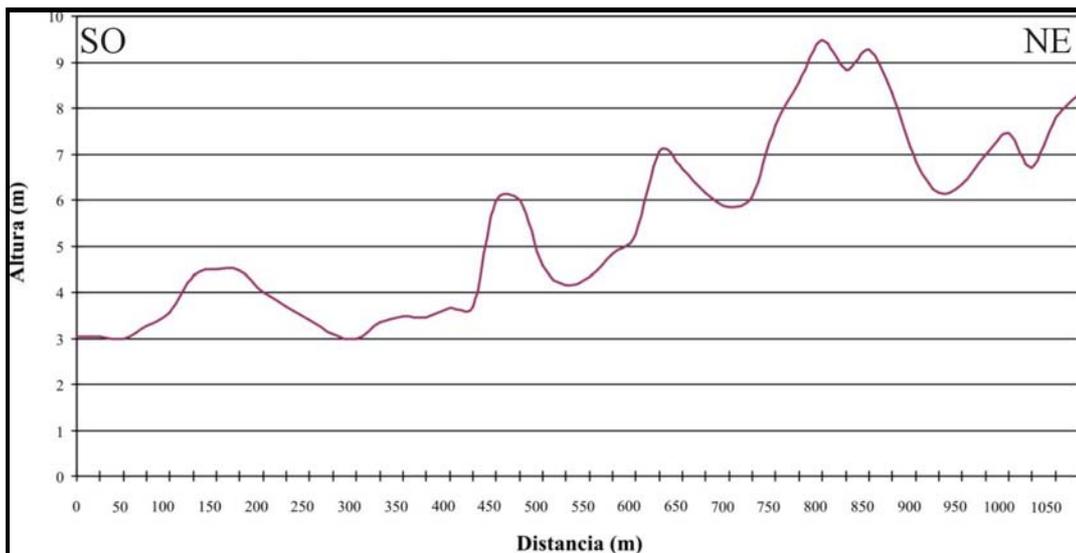


Figura V.5. Perfil altitudinal para el sector de las hoyas

El perfil del sector de la playa de Maspalomas (D10) (figura V.6), indica la existencia de una serie de cordones transversales, fácilmente identificables, que se alinean transversales a los vientos de procedencia E. El sedimento se presenta con una variación altitudinal que desciende desde los 5 metros en el sector oriental, hasta una cota cercana a los 3 metros, en el occidental, punto en el que las acumulaciones sedimentarias presentan una menor

altura. La altura máxima observada es de 9,95 metros, aunque, en conjunto, la media se sitúa en 4,59 metros. Ello implica un volumen medio de sedimentos en este sector algo superior a los 723.000 m³ de materiales.

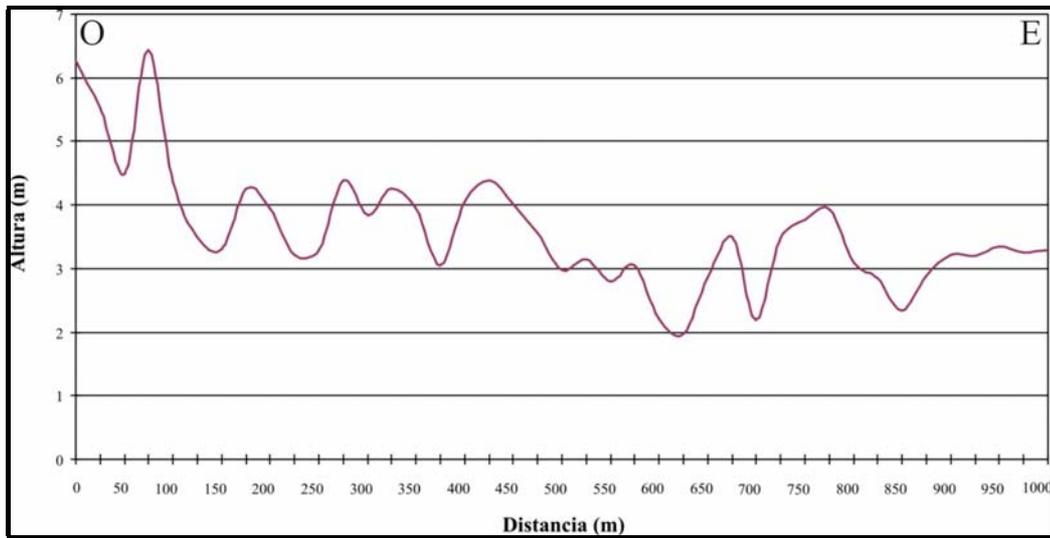


Figura V.6. Perfil altitudinal para el sector occidental de la playa de Maspalomas

Del conjunto de los datos obtenidos, deriva una altura media del sedimento de 7,68 metros en 1962, lo que nos permite estimar un volumen para todo el sistema dunar, de 27,57 millones de m³ de materiales.

5.1.2. Comunidades vegetales

La caracterización de las comunidades vegetales presentes en el entorno del sistema dunar, a principios de los años 60, ha sido llevada a cabo a partir de la información bibliográfica existente (Esteve (1968) y Sunding (1972)) (tabla V.1), y haciendo uso de los fotogramas relativos a los vuelos de finales de los años 50 y principios de los 60. Con esta información ha sido elaborado el mapa de las formaciones y comunidades vegetales, que debe considerarse como un modelo aproximado, dada la escasez de fuentes documentales, y la ausencia obvia de trabajo de campo durante esta investigación.

La primera cuestión a plantear es la modificación sustancial que se ha producido en la mayoría de las comunidades vegetales presentes en los años 60, hasta el punto que algunas de ellas pueden considerarse extintas. Este hecho es lógico si atendemos a la fuerte transformación experimentada por el territorio.

Esteve (1968)	Observaciones
Poblaciones de <i>Traganum moquini</i>	Extendida
Matorral salino/juncales que forman parte del sotobosque del palmeral de <i>Phoenix dactylifera</i> (<i>Ass. Schizogyno-Juncetum acuti</i>)	Extendida en el Oasis y entorno de la Charca de Maspalomas
Pequeños bosquetes de <i>Tamarix gallica</i> var. <i>canariensis</i> , <i>Launaea arborescens</i> y <i>Neurada procumbens</i> .	Extensión reducida
Césped de <i>Cyperus laevigatus</i> ssp. <i>Dystachios</i> recubriendo las depresiones salinas	Presente
<i>Nicotiana glauca</i> e <i>Inula viscosa</i> en el lecho pedregoso de la rambla de Maspalomas	Presente
Sunding (1972)	Observaciones
<i>Ass. Euphorbio-Cyperetum kalli</i>	Cobertura de los inventarios inferior al 5%
<i>As. Traganetum moquini</i>	Extendida en el litoral de Maspalomas y Bahía de playa del Inglés
<i>Ass. Cyperetum laevigati</i>	Coberturas entre 5 y 30% según sus inventarios
<i>Ass. Chenoleo-Suaedetum vermiculatae</i>	Con escasa presencia en las Dunas. Tan sólo un inventario
<i>Nicotiana glauca</i> e <i>Inula viscosa</i> en el lecho del barranco	Presente

Tabla V.1. Comunidades y tipos de vegetación citados por Esteve (1968) y Sunding (1972)

En los años 60, este ámbito presentaba una cobertura principalmente agrícola, que suponía un porcentaje elevado en todo el territorio sur insular. De hecho, en esta fecha se produce un aumento significativo de la superficie cultivada por tomates, con destino a la exportación. Este proceso, fácilmente observable en la terraza sedimentaria del Inglés, tuvo consecuencias negativas para la dinámica sedimentaria eólica en el interior del sistema dunar, al producirse un bloqueo parcial al tránsito de las arenas por el techo de esta gran geoforma.

En el vértice sur de la terraza sedimentaria, lugar que jamás llegó a estar ocupado por un uso humano permanente (hasta el proceso urbanizador iniciado unos años más tarde), se

desarrollaba un **matorral de *tabaibas***, en el que es de suponer la presencia de las dos especies de tabaiba (*Euphorbia balsamifera* y *Euphorbia regis-jubae*) de esta isla. Esta misma comunidad aparece al norte del Oasis de Maspalomas.

El crecimiento urbanístico posterior se produce no sólo sobre estas áreas agrícolas, sino sobre espacio mayoritariamente natural. De hecho, una gran parte del área situada al norte del actual campo de dunas, así como el Oasis de Maspalomas, no presenta, al menos teniendo en cuenta las fuentes utilizadas, usos humanos permanentes. En el sector norte, en aquel momento, se desarrollaban procesos asociados a la dinámica sedimentaria eólica, y a la presencia de vegetación, tales como dunas a sotavento. La vegetación que propiciaba la formación de estas geoformas, era un **matorral de *Plocama pendula***, comunidad habitualmente presente en las ramblas de los barrancos de nuestras islas, por lo que se encontraría ocupando su área potencial: la llanura de inundación secular del barranco de Maspalomas.

Esta comunidad se extendía también por el interior del campo de dunas, asociada a los materiales aluviales del canal oriental del barranco, el cual, en esta época, comenzaba a perder su papel natural, al ser desviado su curso hacia la confluencia con el canal occidental. En la actualidad, de esta comunidad únicamente sobreviven algunos ejemplares de *Plocama pendula* en el interior del campo de dunas.

En cuanto al entorno del Oasis, aparte de los tabaibales, aparecen otras comunidades relacionadas con la presencia de aguas dulces. Así, el área circundante a un antiguo pozo existente en la zona estaba ocupada por un **carrizal de *Phragmites australis*** y por un **ejemplar de “jardinería”**: un laurel de indias (*Ficus microcarpa*) de grandes dimensiones, que recibía el nombre del “árbol bonito”. Este ejemplar merece ser comentado, dado que es el único elemento florístico relevante ajeno a la vegetación natural o agrícola; aunque no estaba exento de uso, dado que su sombra protegía a los

trabajadores en sus horas de descanso, tal y como queda recogido en las innumerables fotografías de la época, que permiten fijarlo como un “hito” paisajístico.

Las otras dos comunidades presentes en el Oasis forman un contexto único, aunque haciendo uso de las diferencias texturales en los ejercicios de fotointerpretación, es sencillo distinguirlas: se trata de un **palmeral (previsiblemente de *Phoenix canariensis* y *Phoenix dactylifera*)** y de una **comunidad helofítica**, en la que se distinguen juncos. De acuerdo con la bibliografía citada, esta última comunidad aparecía también como sotobosque del citado palmeral (Esteve, 1968). Considerando las especies que hoy constituyen las comunidades de las zonas húmedas en el sistema dunar, cabe pensar que, en el caso de los juncos, se trate de *Juncus acutus* y *Juncus maritimus*. Aparte de éstas, debían existir otras, que aún hoy cohabitan con los juncos, como *Schizogyne glaberrima*. De hecho, Esteve (1968) describe la *Ass. Schizogyne-Juncetum acuti*, con una cohorte de especies de carácter salino y halófilo, extendida en el entorno del Oasis y de la Charca de Maspalomas.

Esta comunidad es previsiblemente la misma que se localizaría en algunas hoyas del interior del campo de dunas, lugares en los que se debía producir el afloramiento de aguas del nivel freático. En este sentido, hay que prestar atención al topónimo “Hoya de las Fuentes”, localizado en la zona media del sistema, en el contacto entre los materiales aluviales que conforman la terraza baja y las dunas móviles. Este enclave presentaba varias unidades donde se desarrollaban las comunidades helofíticas, tal y como sigue sucediendo en la actualidad.

El resto de las comunidades que hemos establecido en el interior del campo de dunas es el siguiente:

- **Matorral halonitrófilo de *Traganum moquinii***. Este matorral se localizaba en las mismas áreas que en la actualidad, si bien se distinguen ejemplares de balancón en algunos pequeños espacios interdunares cercanos a lo que, hoy día, es su área de

distribución. Por ello, hay que considerar que se encontraba más extendido. Pero, además, su potencial regenerador debía ser mucho mayor al actual, dada la ausencia de usuarios en la playa. Tanto Esteve (1968) como Sunding (1972) citan esta especie como extendida.

- **“Céspedes” de *Cyperus laevigatus***. Esta comunidad, prácticamente monoespecífica, se desarrollaba en los espacios interdunares humedecidos por capilaridad y con alto contenido en sales. Fue citada por Esteve (1968) (césped de *Cyperus laevigatus ssp. dystachios*) y por Sunding (1972), que establece la *Ass. Cyperetum laevigati*, para la que cita coberturas de entre 5% y 30% en sus inventarios. Es de suponer que esta especie tuviese un uso forrajero, tal y como se reconoce en las entrevistas de campo, así como en las fotografías de la época.

- **Matorral con *Juncus acutus*, *Schizogyne glaberrima* y *Launaea arborescens***. Esta comunidad aparece en dos enclaves del interior del campo de dunas, localizándose, aparentemente, en hoyas con un subsuelo húmedo. Posiblemente corresponda, parcialmente, a las comunidades helofíticas citadas con anterioridad y, así mismo, a la *Ass. Euphorbio-Cyperetum kalii*, citada por Sunding (1972). Este autor incluye cinco inventarios, algunos de los cuáles fueron realizados en El Gavioto (enclave situado en el interior del campo de dunas) el 2 de marzo de 1967. En ellos, tan sólo recoge entre una y cinco especies: *Cyperus kalli*, *Neurada procumbens*, *Heliotropium bacciferum ssp. erosum*, *Launaea arborescens* y *Cynodon dactylon*.

Previsiblemente, esta asociación fue el estadio previo al establecimiento de las actuales “praderas” terofíticas sobre dunas fijas, conforme se produjo la paralización del tránsito sedimentario en el sistema interior. La descripción actual de estas “praderas” incorpora otro cortejo de especies, por lo que cabría pensar que, tal vez, la dinámica dunar, que ha evolucionado estabilizando el sistema, ha favorecido el desarrollo de una comunidad más heterogénea, en la que el papel de *Launaea arborescens* y *Neurada procumbens* es más relevante que el protagonizado en los años 60.

- **Matorral de *Suaeda vermiculata***. Esta comunidad es fácilmente reconocible por fotointerpretación (haciendo uso del patrón espacial), debido a la particular disposición de los individuos de *Suaeda vermiculata*. Se localiza en varios enclaves del interior del campo de dunas, precisamente en las cercanías de las calcarenitas. En los años 60 observamos los nichos a partir de los cuáles se produce su dispersión. Ésta se ha visto favorecida por los procesos de deflación y la aparición del basamento, dado que esta especie parece ser la única capaz de resistir el alto contenido en sales de los suelos exhumados.

Sunding (1972) describe la asociación *Chenoleo-Suaedetum vermiculatae*, localizando siete inventarios al oeste del Faro de Maspalomas, posiblemente sobre las áreas agrícolas y terrazas de Meloneras. Tan sólo un inventario se localiza en el NE del Faro, sobre los materiales del entorno del Oasis. Se trata de una comunidad asimilable a la que actualmente se encuentra en este entorno, pues presenta individuos de *Tamarix canariensis*, *Launaea arborescens*, *Schyzogine glaberrima*, *Suaeda vera* y *Suaeda vermiculata*.

- **Matorral de *Launaea arborescens* en espacios interdunares en dunas móviles**. A través de fotografía aérea se identifican algunas formaciones de aulagas en el interior del campo de dunas, coincidiendo con los materiales aflorantes del sector oriental de la terraza baja. Tan sólo una de estas comunidades sobrevive hasta la actualidad.

- **Matorral de *Launaea arborescens* en espacios interdunares en dunas fijas**. Los matorrales de aulagas del interior del campo de dunas se desarrollan en los sectores donde la dinámica sedimentaria es escasa, debido al lento crecimiento de esta especie y, por ello, a su imposibilidad de desarrollarse en áreas con arenas móviles. De esta forma, aparece en algunos enclaves orientales del sistema interior, asociado a los espacios interdunares

de algunas dunas barjanas (previsiblemente en proceso de paralización), y coincidiendo con los materiales aflorantes del canal oriental del barranco de Maspalomas.

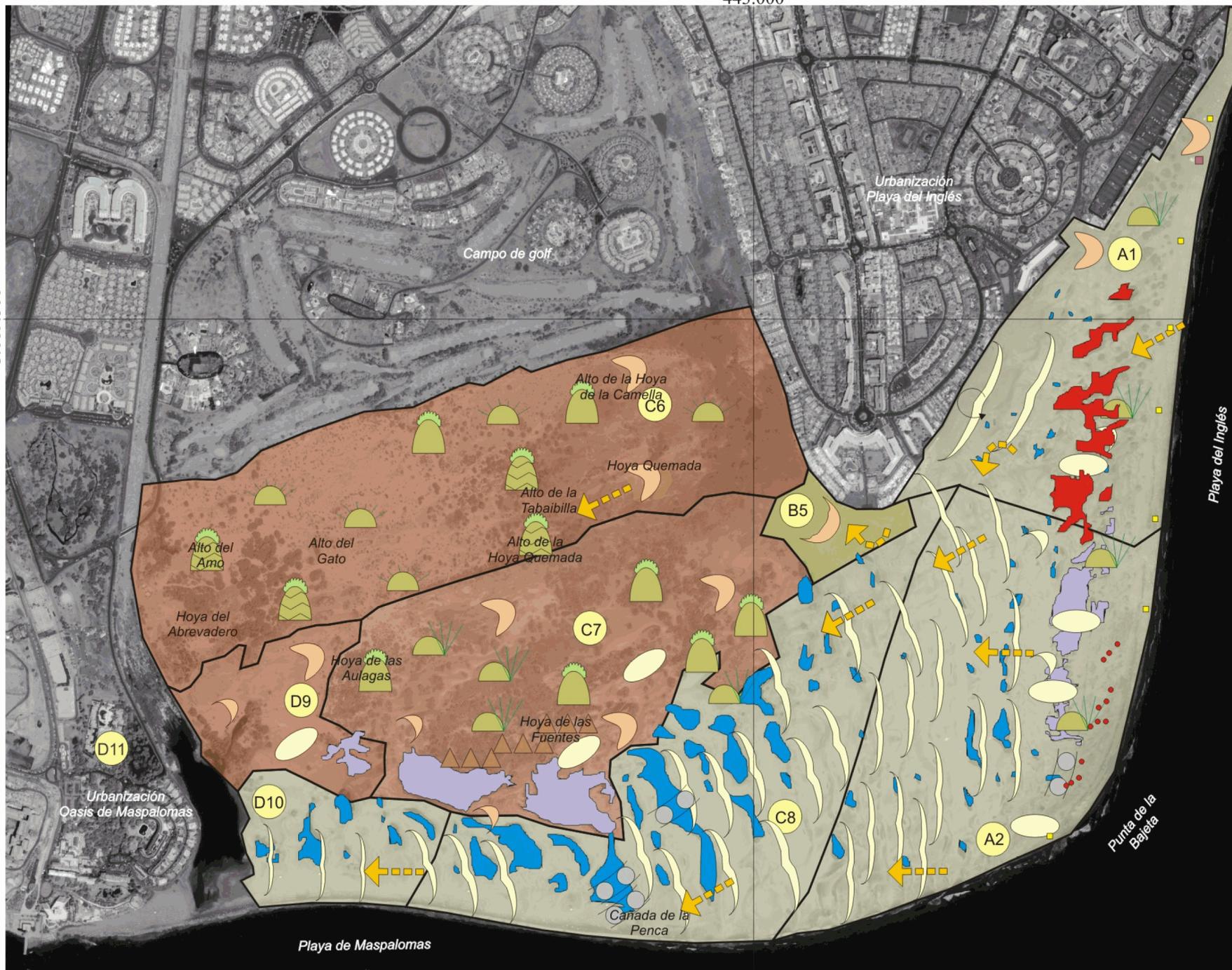
- **Comunidades de *Tamarix canariensis***. Al igual que ocurre en la actualidad, los tarajales adquieren distintas formaciones, dependiendo de las condiciones ambientales en las que se desarrollan. En el interior del sistema, aparecen **bosquetes de *Tamarix canariensis* en hoyas**, asociados a pequeños enclaves interdunares, en el entorno de las dunas móviles interiores y, especialmente extendida en las cercanías del barranco de Maspalomas. Estos enclaves han experimentado un importante crecimiento, favorecido por la paralización del sedimento.

Una **población de *Tamarix canariensis* sobre dunas estabilizadas** se localiza en el Alto de la Tabaibilla, al ser éste uno de los pocos enclaves que, netamente, había sido estabilizado en esta época. Sin embargo, son extensas las **poblaciones de *Tamarix canariensis* culminantes en dunas móviles**, dada la dinámica sedimentaria tan activa que caracterizaba la mayoría del sistema dunar. Estas poblaciones representan el paso previo a las actuales poblaciones sobre dunas estabilizadas del sistema interior.

De igual forma, aparece un enclave, a sotavento de la terraza sedimentaria del Inglés, que hemos categorizado como una **población de *Tamarix canariensis* culminantes en dunas terminales**. El desarrollo agrícola en el techo de la terraza habría posibilitado su asentamiento, al bloquear parcialmente el tránsito de los sedimentos hacia este sector.

Por último, se ha considerado oportuno remarcar aquí la localización de los **ejemplares de *Tamarix canariensis* culminantes sobre dunas móviles**, dado que muchos de estos individuos perviven en la actualidad. Se trata, por tanto, de ejemplares bastante viejos, que llevan más de cuarenta años manteniendo una “lucha” por su supervivencia contra el tránsito de las arenas. En aquellos lugares donde la dinámica sedimentaria se ha reducido,

443.000



Legenda

UNIDADES SEDIMENTARIAS EÓLICAS

- A1 Franja del Inglés. Sector Norte
- A2 Franja del Inglés. Sector Sur
- B3 Terraza sedimentaria. Sector Sur
- B4 Terraza sedimentaria. Sector Oeste
- B5 Terraza sedimentaria. Vértice Sur
- C6 Sistema interior. Área Norte
- C7 Sistema interior. Área de las hoyas
- C8 Sistema interior. Área Sur
- D9 Área oriental del Barranco
- D10 Entorno de la Playa de Maspalomas
- D11 Barranco y oasis

ACTIVIDAD SEDIMENTARIA EÓLICA

- Actividad actual
- Actividad actual reducida
- Actividad residual con aportes
- Actividad residual terminal
- Inactividad

MODELADO EÓLICO

FORMAS LIBRES

- Dunas barjanas
- Cordones barjanoides transversales
- Láminas de arena

CONDICIONADAS POR LA TOPOGRAFÍA

- Dunas rampantes
- Dunas eco
- Dunas descendentes
- Dunas piramidales
- Dunas en herradura (de vértice)

CONDICIONADAS POR LA VEGETACIÓN

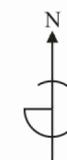
- Acumulaciones a sotavento
- "Lomas" vegetadas
- Dunas vegetadas

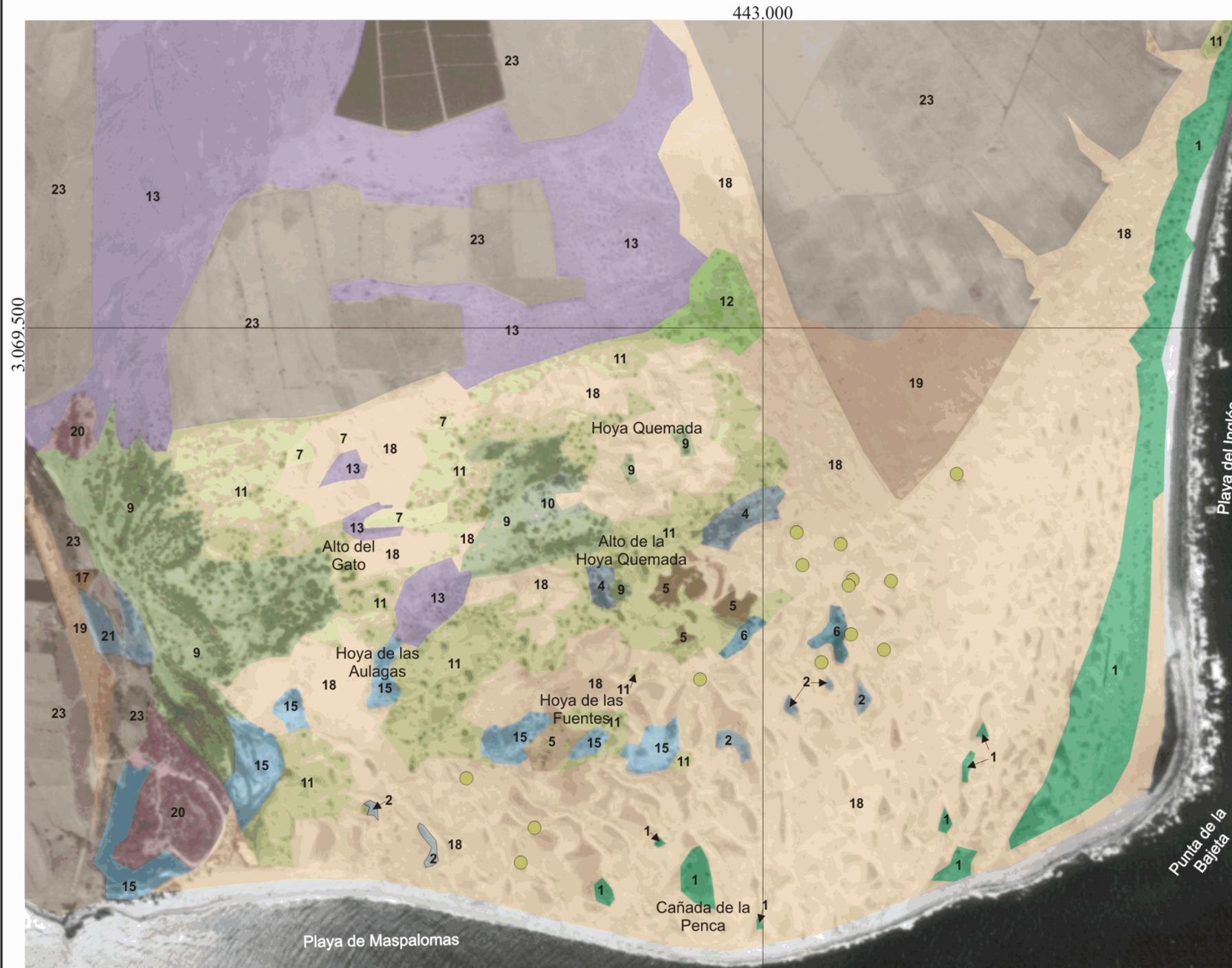
OTRAS

- Acumulaciones indiferenciadas
- Acumulaciones eólicas antiguas
- Cordones litorales
- Pavimentos de cantos
- Espacios interdunares
- Llanuras de deflación
- Pasillos de sombra eólica
- Dirección del movimiento de la arena

ELEMENTOS ANTRÓPICOS

- Puesto de la Cruz Roja
- Kioscos de playa
- Goros cortaviento





Leyenda

- 1 Matorral halonitrófilo de *Traganum moquinii*
- 2 "Céspedes" de *Cyperus laevigatus*
- 4 Matorral con *Juncus acutus*, *Schizogyne glaberrima* y *Launaea arborescens*
- 5 Matorral de *Suaeda vermiculata*
- 6 Matorral de *Launaea arborescens* en espacios interdunares en dunas móviles
- 7 Matorral de *Launaea arborescens* en espacios interdunares en dunas fijas
- 9 Bosquetes de *Tamarix canariensis* en hoyas
- 10 Poblaciones de *Tamarix canariensis* sobre dunas estabilizadas
- 11 Poblaciones de *Tamarix canariensis* culminantes en dunas móviles
- 12 Poblaciones de *Tamarix canariensis* culminantes en dunas terminales
- 13 Matorral de *Plocama pendula*
- 15 Comunidades helofíticas
- 19 Matorral de *Euphorbia balsamifera* y *Euphorbia regis-jubae*
- 20 Palmeral de *Phoenix canariensis*
- 21 Carrizal de *Phragmites australis*
- 22 Ejemplares de *Tamarix canariensis* culminantes sobre dunas móviles
- 23 Cultivos
- 17 Ejemplares de jardinería (el "Árbol Bonito")
- 18 Ausencia de vegetación



estos ejemplares han conseguido estabilizar las dunas y llegar a desarrollar densas poblaciones.

5.1.3. Geomorfología eólica a principios de los años sesenta

A comienzos de la década de los sesenta, el sistema dunar de Maspalomas se encontraba todavía escasamente transformado por la actividad humana. En consecuencia, la fotografía aérea muestra algunas claves esenciales de su funcionamiento natural, al menos desde finales de los años 40 y, posiblemente, desde mediados del siglo XIX. El primer aspecto que destaca es la mayor extensión que presentan las áreas ocupadas por arenas. Así, se identifican acumulaciones dunares en áreas circundantes a lo que hoy conocemos como campo dunar, actualmente desaparecidas como consecuencia de la intervención humana. Considerando las áreas que aparentemente manifiestan una mayor cobertura de sedimentos eólicos, el campo dunar presenta una superficie total de 4,28 km². Los únicos elementos antrópicos claramente identificables en esta fecha se localizan al norte del actual sistema dunar (la terraza sedimentaria del Inglés y los terrenos ocupados por el campo de golf), así como en el oasis de Maspalomas. En cuanto a los primeros, se trata de los cultivos de tomates, cuya superficie experimenta un notable crecimiento entre finales de los años 50 y principios de los 60. Este incremento superficial es especialmente importante en el sector sur de la terraza sedimentaria del Inglés (B3). Por lo que respecta al oasis de Maspalomas, la actividad humana se limita a algunas pequeñas viviendas ubicadas en los alrededores del palmeral, en el contacto con la playa de Maspalomas.

A continuación se describen los principales rasgos geomorfológicos del área en esta época, tomando como sistema de referencia las unidades en que ha sido dividido el espacio dunar, y analizando el papel que cada una de ellas desempeña en el funcionamiento conjunto del sistema.

5.1.3.1. La franja del Inglés (A)

En esta área, que constituye la “puerta de entrada” de los sedimentos en el sistema, a principios de los años 60 tan sólo los balcones parecen interferir en el tránsito de los sedimentos, incidiendo activamente en la generación de las primeras formas de acumulación que se adentran en el sistema dunar. Si bien es cierto que la terraza del Inglés supone una interferencia a la dinámica sedimentaria, ésta no es tan decisiva como la observada en el período actual, de tal suerte que esa misma geoforma permite, al menos durante unos años, el tránsito de los sedimentos hacia el sistema interior (C).

5.1.3.1.1. El sector Norte (A1)

Los vientos de procedencia NE empujan los sedimentos desde su área de secado, en el estrán de la playa, hacia el interior de esta área. Las formas de acumulación, en los primeros tramos, están relacionadas con la presencia de ejemplares de *Traganum moquinii* que se ubican en la playa alta, dando lugar a acumulaciones a sotavento de estos obstáculos. Los individuos vegetales se caracterizan por presentar un gran porte, así como por alinearse, de dos a cuatro ejemplares, siguiendo la dirección de los vientos efectivos, NE-SO. Las primeras acumulaciones sedimentarias, por tanto, se localizan muy cerca de la línea de costa, a una distancia media observada de unos 40 metros. Hacia el interior, y especialmente al norte del sector, estas formas se desdibujan como consecuencia de la gran cantidad de arena que es retenida. Ello se debe al papel que desempeña la terraza sedimentaria del Inglés, que se interpone de forma transversal al tránsito de los sedimentos, ejerciendo un efecto de frenado en las arenas y, con ello, una importante retención. Esta cuestión se corrobora también al observar la inexistencia de espacios interdunares en este sub-sector norte, así como su escaso número en todo el sector.

Este papel de retención de sedimentos se identifica, igualmente, en la existencia de una serie de amplios cordones dunares, con alineación paralela a la propia terraza y, por ello, transversales a la dirección SE-NO. Sin embargo, frente a lo observado para la época más reciente, en este momento todavía se produce el tránsito de parte de los sedimentos sobre

la terraza sedimentaria. Este paso se produce inicialmente, y al norte de este sector, en forma de dunas rampantes que ascienden por los pequeños barrancos abiertos en el talud oriental de la terraza. Hacia el sur, por el contrario, se observan directamente dunas barjanas en el techo de la terraza, por lo que cabría pensar que el tránsito sedimentario, desde el pie del talud, se produce directamente, debido a la menor altitud que presenta la terraza en este sector.

Conforme nos desplazamos hacia el sur, la incidencia de la terraza en el frenado de los sedimentos va desapareciendo, aunque se presenta otro papel igualmente importante: induce la desviación en la dirección del viento y, por tanto, de los sedimentos, hacia el sur. De este modo, las formas sedimentarias se localizan perpendiculares a la dirección NNE-SSO, forma en la que accederán al interior del sistema dunar por su sector sur (C8).

5.1.3.1.2. El sector Sur (A2)

A diferencia de lo observado en el sector norte (A1), en el sur los ejemplares de balancón ubicados en la playa alta de este sector son de menor porte y no se presentan alineados. Sin embargo también inducen la generación de acumulaciones incipientes a sotavento, que dan paso, hacia el interior del sistema, a cordones transversales, que presentan rasgos barjanoides. Estos cordones, así como los espacios interdunares, se alinean transversales a los vientos, que acceden a este sector con una dirección E-O. Siguiendo esta dirección, las formas dunares continúan su recorrido, adentrándose en el interior del sistema por el sector sur (C8), donde se reorientan de forma transversal a la dirección de los vientos de procedencia NE.

Alejadas del papel que ejerce la terraza sedimentaria en la retención del sedimento, en este sector sur, las arenas avanzan a mayor velocidad, hecho que se comprueba en la cantidad de espacios interdunares que aparecen. Estos espacios aparecen formando alineaciones N-S, con superficies variables, que aumentan conforme nos desplazamos

hacia la punta de la Bajeta. El sumatorio de estos espacios es de 6,2 has, lo que representa el 7,78% de la superficie del sector.

Tomando como referencia varios ejemplares de balancón situados en la primera línea de la trasplaya, se constata una distancia media a los primeros espacios interdunares, de 70 metros, cifra muy alejada de los 40 que observábamos en el sector norte (A1), aunque todavía relativamente cercana a la línea de costa.

5.1.3.2. La terraza sedimentaria (B)

La terraza del Inglés representa uno de los elementos más significativos del espacio dunar en este momento, sobre todo por su influencia en la dinámica de los sedimentos. De este modo, tal y como se ha comentado, se configura como un obstáculo para el tránsito de los sedimentos, lo que implica, por un lado, una mayor acumulación a barlovento, en el sector norte de la franja del Inglés (A1) y, por otro lado, una ligera modificación en la dirección de los flujos eólicos que transportan, procesos que se observan fundamentalmente cerca del vértice sur.

No obstante, su altitud y configuración geomorfológica permiten el tránsito de parte de los sedimentos al interior del espacio dunar, proceso que se realiza por el sector sur de la terraza.

5.1.3.2.1. El sector Sur (B3)

El sedimento accede a esta área desde el sector norte de la franja del Inglés (A1). Los cordones dunares, que se localizan en el contacto entre ambos sectores, permiten una entrada de sedimentos que garantiza la continuidad de la dinámica sedimentaria en el interior del sistema. Sin embargo, desde el punto de vista geomorfológico, estos aportes presentan diferencias en el espacio y en el tiempo. Así, conforme nos desplazamos hacia el norte, el talud de la terraza se hace más elevado y presenta mayores pendientes. Por ello, los aportes sedimentarios son menores, dado que la configuración del talud

imposibilita el acceso de los sedimentos al techo de la terraza, salvo en algunos pequeños barrancos por donde avanzan dunas rampantes (figura V.7). La inexistencia de usos humanos en estos enclaves, que interfieran en la dinámica, garantiza el acceso de la arena al techo de la terraza. Sin embargo, la mayoría de los sedimentos son conducidos, siguiendo la dirección de los vientos efectivos, hacia el SE.

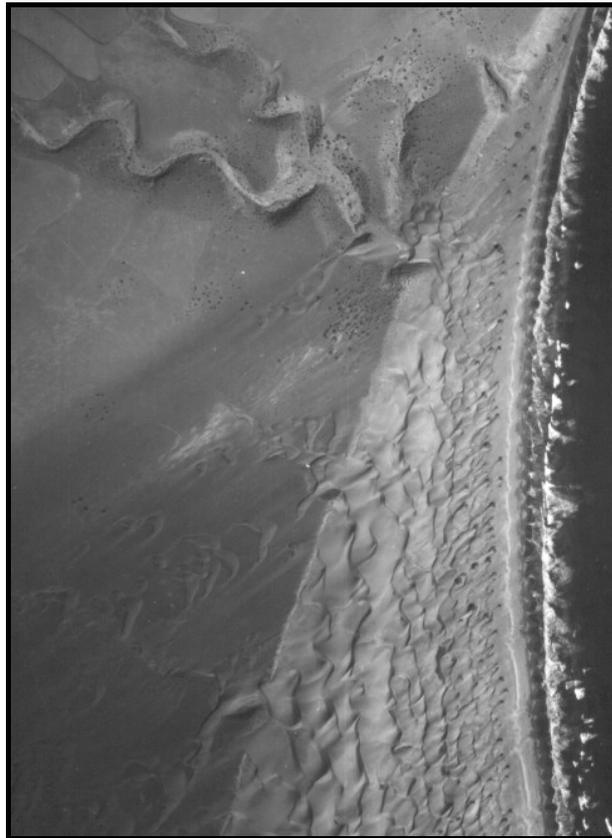


Figura V.7. Talud oriental de la terraza del Inglés en 1948

Por su parte, el sector septentrional del techo de la terraza se encuentra ampliamente ocupado por campos de cultivo, dedicados a la producción de tomates para la exportación. Durante estos años, tal y como se ha señalado, estos cultivos experimentan un notable crecimiento hacia el sur, llegando a ocupar la práctica totalidad de su superficie (figura V.8). En este proceso se identifican algunas pautas que resultan de interés para conocer la evolución geomorfológica del sistema: la ocupación de nuevas

áreas, más expuestas a la entrada de sedimentos, implica un riesgo de ocupación de los cultivos por parte de las arenas, cuestión asumida por los agricultores. De este modo, en algunos años (v.g.: 1962), se observa la presencia de láminas y montículos de arenas entre los campos de cultivo, lo que implica el abandono de éstos cuando la cantidad de sedimentos es notable, hecho que se ha podido contrastar a través de informaciones de campo. Del mismo modo, es apreciable el “cerco” a que eran sometidas algunas formas dunares excepcionalmente notables en cuanto al volumen de sedimentos (v.g.: 1962), lo que implicaba su estabilización.

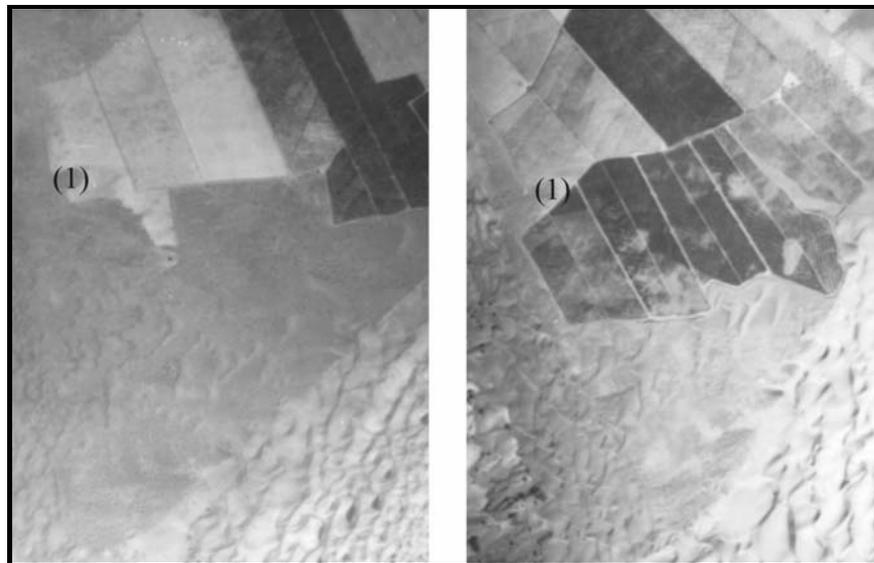


Figura V.8. Evolución de los cultivos en la terraza del Inglés entre 1959 (izquierda) y 1961 (derecha)

El vértice sur de la terraza es el lugar que se ocupa más tardíamente, realizándose de acuerdo a las pautas comentadas. Se trata de un área de unas 26 has en la que se aprecia, durante varios años, la presencia de formas dunares libres que avanzan por el techo de la terraza, adquiriendo la fisonomía de dunas barjanas, mayoritariamente asimétricas, que se desplazan siguiendo la dirección de los vientos efectivos. Las tonalidades oscuras que presentan indican que, en este punto, se produce una diferenciación del material de acuerdo a su composición, de tal forma que los granos de arena más pesados (con

predominio de la fracción mineral) son los que se ven más limitados en su movimiento, produciéndose más lentamente su tránsito entre ambos flancos de la terraza. Por el contrario, los materiales más ligeros (con predominio organógeno) se trasladan a mayor distancia, por lo que alcanzan antes el sector oeste de la terraza (B4).

En el área más cercana al vértice sur de esta geoforma, sólo se diferencian láminas de arena que, ocasionalmente, presentan someras retenciones de sedimentos a sotavento de algunos ejemplares vegetales.

El tránsito sedimentario por el techo de la terraza se cierra con unos cordones dunares que se localizan en el límite con el talud occidental. Éstos presentan formas barjanoides y, ocasionalmente, adquieren un patrón en “*aklé*”.

5.1.3.2.2. El sector Oeste (B4)

Este sector, situado a sotavento de la terraza, ha sido delimitado en función del papel que juega en el tránsito de los sedimentos hacia el interior del sistema. Sin embargo, conviene reseñar que su ámbito es mucho mayor al aquí señalado. De esta forma, el sector a sotavento de la terraza, que presenta formas derivadas de la dinámica sedimentaria eólica, se extiende más de dos kilómetros hacia el norte, siguiendo el talud occidental de la terraza. En el segundo kilómetro, tierra adentro, se localizan varias formas de acumulación someras, así como algunas láminas de arenas; sin embargo, la mayor espectacularidad, en cuanto a las formas dunares, responde a tres grandes acumulaciones de arena que adquieren alturas cercanas a los 20 metros. Las dos situadas más al norte (la más alejada del sistema dunar recibía el nombre de “*miano*” –Naranjo, 1999-), presentan formas piramidales y, en el contacto con el talud, un frente alineado perpendicular a la terraza. La situada más al sur (figura V.9) constituye una gran acumulación de arenas con rasgos barjanoides, aunque los brazos típicos de este tipo de dunas han quedado atrapados en el contacto con el talud de la terraza, al estar la duna invertida con respecto a la dirección de los vientos efectivos.



Figura V.9. Sector occidental de la terraza del Inglés

Atendiendo a los rasgos que presentan estas formas de acumulación, así como a las tonalidades claras que denotan, se puede considerar que estas dunas han quedado atrapadas por la propia terraza y que, a diferencia de lo que sucede en otros sectores, son producto de la dinámica sedimentaria originada por los vientos de procedencia SO. Éstos movilizan los sedimentos localizados en el sector norte del interior del espacio dunar (C6), y los trasladan hasta el talud occidental de la terraza, donde quedan retenidos. Desde allí, y redirigidos por esta geofoma, van siendo empujados hacia el norte. Este funcionamiento es aplicable directamente a las dos dunas situadas más al norte; sin embargo, en la situada al sur, la presencia de láminas de arena que avanzan entre los campos de cultivo, con una dirección NE-SO, indica que se encuentra también condicionada por los vientos de procedencia NE. No obstante, estas formas de avance desde el norte quedan parcialmente frenadas por la gran cantidad de individuos vegetales

que aparecen en el sector, generando formas de acumulación a sotavento. Sin embargo, una parte de los sedimentos se desplazan por lo que hoy conocemos como campo de golf, culminando su recorrido en el barranco de Maspalomas (figura V.10).



Figura V.10. Tránsito sedimentario al norte del sistema actual

Finalmente, el sector oeste de la terraza (B4) propiamente dicho, se configura como un área de unas 7,2 has, que supone el lugar donde se acumulan los sedimentos provenientes del sector sur de la terraza del Inglés (B3). Esta acumulación permite que el descenso desde la terraza sedimentaria hasta el sector norte del interior del sistema (C6), más deprimido topográficamente, se realice de forma progresiva, configurando un almacén en el que no se aprecian formas dunares tipificadas.

La tonalidad oscura de estos sedimentos es similar a la observada en los ubicados en el sector sur de la terraza (B3), lo que permite deducir que, en este sector, aún se produce la mencionada granoselección del sedimento en función de su composición.

Al menos durante los años en que se produjo el mayor desarrollo de la agricultura, este sector funcionó como área extractiva, hecho que ha podido observarse a través de fotointerpretación. Así, se comprueba la existencia de pequeñas extracciones y redes de caminos, en los que se localizan camiones cargados de arenas, que se dirigen a los campos ubicados en lo que hoy conocemos como campo de golf, donde, a su vez, se identifican acumulaciones de estos materiales. Con posterioridad, durante los años de desarrollo de la urbanización del Inglés, se convertirá de nuevo en área de extracción de áridos, aunque, en este caso, para la construcción de las edificaciones turísticas.

5.1.3.3. El interior del sistema (C)

El interior del sistema es, en esta época, un área donde la dinámica se mantiene mayoritariamente activa, aunque presenta rasgos de inactividad en algunos sectores, dependiendo de la presencia de ejemplares o comunidades vegetales. En algunos casos, éstas llegan a bloquear la movilidad de los sedimentos. Esta menor actividad está también relacionada con la interceptación sedimentaria que induce la terraza del Inglés. Así, se deduce que, a pesar de que esta geoforma permite el trasvase de parte de las arenas hacia el interior del sistema dunar, a sotavento de este obstáculo los aportes serán cada vez menores, lo que produce una clara diferencia, por tanto, entre el área norte (C6) y el sur (C8), y una zona de transición en el sector de las hoyas (C7).

5.1.3.3.1. El área Norte (C6)

Esta área recibe aportes sedimentarios desde el sector oriental de la terraza del Inglés, y se configura como el ámbito por el que transitan hasta alcanzar el barranco de Maspalomas. El espacio por el que se produce este tránsito presenta diferencias en su interior, en función de las geoformas preexistentes y la presencia de formaciones vegetales, cuyo papel en la dinámica de los sedimentos es determinante, y de la mayor o menor distancia a la terraza sedimentaria.

Así, en los primeros metros desde la base de la terraza sedimentaria, se localizan algunos ejemplares de tarajal, que determinan la formación de dunas a sotavento. Inmediatamente hacia el oeste y, en un tramo de unos 500 metros, las formas dunares que se originan son cordones dispuestos transversalmente a la dirección de los vientos efectivos. Estos cordones están caracterizados por presentarse muy agrupados, y sin que se aprecie entre ellos espacios interdunares claramente definidos. En relación a las tonalidades que presentan las arenas, éstas son mucho más claras que las observadas en la terraza sedimentaria del Inglés (B), debido a que se trata de los sedimentos organógenos, más ligeros, que han avanzado a más distancia que lo hicieran los minerales, más pesados.

En el límite occidental de este sub-sector aparecen dos grandes acumulaciones dunares, densamente colonizadas por la vegetación (en algunos casos llegan a formarse bosquetes muy cerrados): los altos de la Tabaibilla, en el tramo medio, y de la Hoya Quemada, en el contacto con el sector de las hoyas (C7). Estas características indican que se trata de lomas vegetadas, correspondientes a acumulaciones eólicas antiguas.

La vegetación asociada al Alto de la Tabaibilla se prolonga, formando una alineación, de unos 200 metros de anchura, hasta contactar, a unos 300 metros desde su origen, con los bosquetes de tarajales que se ubican en las cercanías del barranco de Maspalomas. Por esta razón, el sedimento arenoso, en su desplazamiento hacia el SO, se ve obligado a rodear el escollo sedimentario y vegetal por sus extremos norte y sur, generando dos pasillos de tránsito de arenas, muy claramente definidos. El situado al norte es más amplio (entre 250 y 350 metros), y se caracteriza por la presencia de dunas barjanas de tonalidades muy claras, algunas de las cuáles presentan unas formas cuasi “perfectas”. En este pasillo, el sedimento termina su recorrido en el bosquete de tarajales que se ubica en las cercanías del barranco de Maspalomas.

El otro pasillo de arena se ubica entre los dos Altos comentados anteriormente. Presenta una menor anchura (no sobrepasa en ningún momento los 250 metros) y unas formas

menos definidas en el primer tramo. En él, el tránsito de los sedimentos no es fácilmente identificable en la fotografía aérea, dada la cantidad de ejemplares vegetales que aparecen en este sector, en la prolongación de los bosquetes que configuran las lomas vegetadas. Sin embargo, inmediatamente, hacia el oeste, sí es posible identificar las acumulaciones sedimentarias, en forma de barjanas, y con unas tonalidades muy claras. Estas dunas prosiguen su avance hasta contactar con otra loma vegetada, perteneciente a acumulaciones eólicas antiguas, el Alto del Gato, de 24 metros, que da paso al bosquete de tarajales inmediatamente en contacto con el barranco de Maspalomas. Al llegar a este Alto, se produce una desviación de los sedimentos hacia el suroeste, que concluyen su recorrido por esta área adentrándose en el sector oriental del barranco de Maspalomas (D9).

5.1.3.3.2. El sector de las hoyas (C7)

Tal y como se ha mencionado, esta área constituye un sector de transición: a medio camino entre la terraza sedimentaria y, más concretamente, el almacén de sedimentos que supone su sector oriental (B4), y las unidades de salida de los sedimentos (C8, D9 y D10). De esta influencia identificamos dos rasgos determinantes: la vecindad y la distancia. Con respecto a la primera, la mayor parte del sedimento se localiza al norte de este sector, coincidiendo con la proyección de los vientos efectivos desde su área de alimentación, el sector oriental de la terraza sedimentaria (B4). Conforme nos desplazamos hacia el sur, nos alejamos del área de influencia de este almacén, lo que tiene consecuencias inmediatas sobre la cantidad de sedimentos identificables, más escasos. La alimentación del área es muy limitada, al coincidir con la proyección hacia el SO del vértice sur de la terraza, por lo que las únicas formas que se aprecian son láminas de arena y acumulaciones a sotavento de la vegetación. A esto hay que añadir una mayor presencia de vientos efectivos, al alejarnos de la influencia de la terraza sedimentaria. También la distancia juega un papel decisivo, puesto que en ambos sub-sectores la cantidad de sedimentos móviles identificables es menor conforme nos alejamos de la terraza.

Esta diferencia tiene también consecuencias en el desarrollo de la vegetación y en el tránsito de los sedimentos. En cuanto a la vegetación, la distribución, en los tramos más próximos a la terraza sedimentaria, de ejemplares aislados de *Tamarix canariensis*, que se presentan, en su gran mayoría, culminando algunas dunas, permite el tránsito de arena entre ellos. Rara vez forman agrupaciones, aunque algunos de ellos tienen un gran porte. En consecuencia, el tránsito de los sedimentos en los primeros tramos se ve escasamente condicionado, pudiéndose identificar dunas barjanas y someras acumulaciones a sotavento de los ejemplares vegetales.

Conforme nos desplazamos hacia el oeste, la vegetación se presenta en agrupaciones más densas y, aunque es posible el tránsito de los sedimentos, las formas de acumulación se encuentran bastante condicionadas por esta cobertura. Así, en el subsector norte, estas formas responden a lomas vegetadas, acumulaciones a sotavento y otras formas de acumulación que no responden a ningún patrón fijo. En el subsector sur, la carencia de aportes significativos y la mayor presencia de vientos efectivos posibilitan la génesis de formas de acumulación someras, como láminas de arena o acumulaciones a sotavento de los ejemplares vegetales.

El área más alejada del almacén de sedimentos es la que presenta un equilibrio más precario: la vegetación es mucho más densa, lo que dificulta la circulación de la arena. Ello explica que aparezcan zonas sin cobertura arenosa, donde aflora el sustrato del sistema, tal y como sucede en la Hoya de Las Fuentes o en una llanura de deflación, de 1,6 has, localizada en el contacto de este sector con el situado justamente al sur.

5.1.3.3. El área Sur (C8)

En ella se ubica la mayor cantidad de sedimento móvil, así como espacios interdunares más frecuentes y extensos. Ocupan, en conjunto, una superficie de 13 has. La vegetación se limita a la presencia de unos pocos ejemplares de *Traganum moquinii* en

la Cañada de la Penca; algunos ejemplares aislados de *Tamarix canariensis*, que aparecen culminando las dunas; y los céspedes de *Cyperus laevigatus* que colonizan las áreas interdunares aunque, aparentemente, no consiguen estabilizar excesivamente los sedimentos.

Entre los espacios interdunares es posible identificar, además, la presencia de barras de callaos, o paleo-barras, que indican la existencia de niveles marinos anteriores al actual. Especialmente interesante resulta el que se localiza en las cercanías de la Cañada de la Penca, que presenta una dirección E-O, paralela a la actual línea de costa. Los documentos de esta época son prácticamente los únicos que han permitido su localización y cartografiado.

Los depósitos sedimentarios se configuran, desde la entrada de las arenas en el sector, provenientes de la franja del Inglés (A), como cordones con rasgos barjanoides, transversales a la dirección de los vientos efectivos NE-SO, por lo que se desplazan hasta alcanzar la playa de Maspalomas en un área de aproximadamente 1 km, donde son captados por el mar.

5.1.3.4. El sector occidental (D)

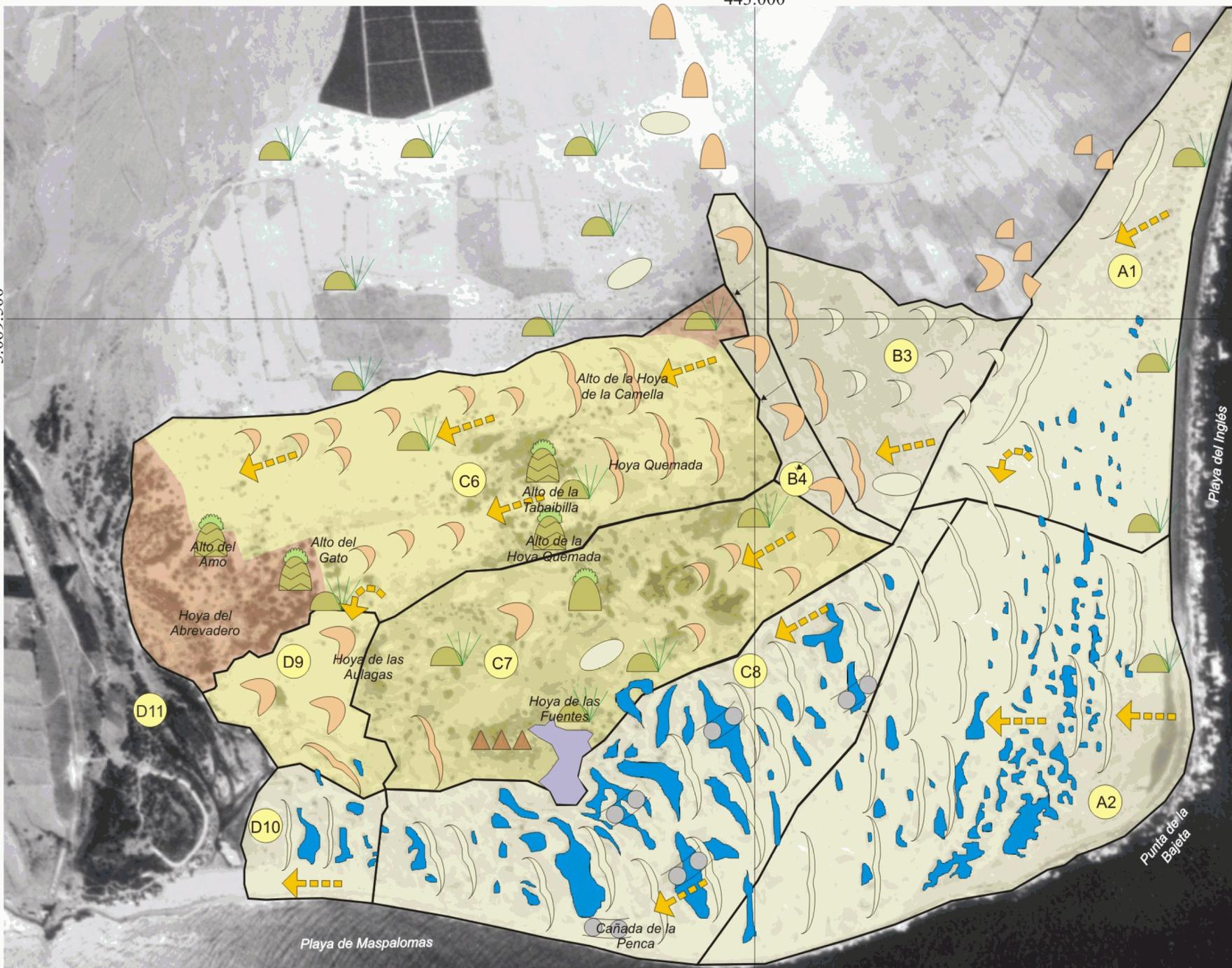
Ya en las proximidades de la desembocadura del barranco de Maspalomas, concluye el tránsito de una gran cantidad de sedimentos, tras haberse desplazado por el interior del sistema dunar. En él se diferencian dos áreas, según la procedencia de los sedimentos: los que se desplazan por la zona norte del interior del sistema y los que lo hacen por su área sur.

5.1.3.4.1. El área oriental (D9)

Esta área representa la zona donde concluye el desplazamiento de los sedimentos tras recorrer el área norte del sistema (B3). En ella se identifican algunas formas de acumulación significativas, la mayoría de las cuáles no presentan un patrón formal neto,

3.069.500

443.000



Legenda

UNIDADES SEDIMENTARIAS EÓLICAS

- A1 Franja del Inglés. Sector Norte
- A2 Franja del Inglés. Sector Sur
- B3 Terraza sedimentaria. Sector Sur
- B4 Terraza sedimentaria. Sector Oeste
- B5 Terraza sedimentaria. Vértice Sur
- C6 Sistema interior. Área Norte
- C7 Sistema interior. Área de las hoyas
- C8 Sistema interior. Área Sur
- D9 Área oriental del Barranco
- D10 Entorno de la Playa de Maspalomas
- D11 Barranco y oasis

ACTIVIDAD SEDIMENTARIA EÓLICA

- Actividad actual
- Actividad actual reducida
- Actividad residual con aportes
- Actividad residual terminal
- Inactividad

MODELADO EÓLICO

FORMAS LIBRES

- Dunas barjanas
- Cordones barjanoides transversales
- Láminas de arena

CONDICIONADAS POR LA TOPOGRAFÍA

- Dunas rampantes
- Dunas eco
- Dunas descendentes
- Dunas piramidales
- Dunas en herradura (de vértice)

CONDICIONADAS POR LA VEGETACIÓN

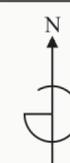
- Acumulaciones a sotavento
- "Lomas" vegetadas
- Dunas vegetadas

OTRAS

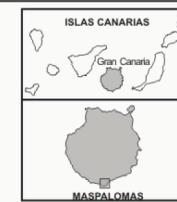
- Acumulaciones indiferenciadas
- Acumulaciones eólicas antiguas
- Cordones litorales
- Pavimentos de cantos
- Espacios interdunares
- Llanuras de deflación
- Pasillos de sombra eólica
- Dirección del movimiento de la arena

ELEMENTOS ANTRÓPICOS

- Puesto de la Cruz Roja
- Kioscos de playa
- Goros cortaviento



0 250 500 m



al tiempo que, hacia el sur, se identifica un cordón dunar. La escasa presencia de ejemplares vegetales en este sector, así como la inexistencia de espacios interdunares, permite concluir que se trata de un área donde el sedimento presenta una movilidad considerable. No obstante, la presencia de algunas comunidades vegetales en los sectores situados a barlovento (C7), explica también la ausencia de otras formas dunares, como pudieran ser las dunas barjanas.

5.1.3.4.2. Entorno de la playa de Maspalomas (D10)

Con una escasa superficie (1,3 has), este sector se caracteriza por presentar cordones dunares transversales a los vientos de componente E, así como amplios espacios interdunares.

5.1.4. Funcionamiento del sistema dunar a principios de los años 60

Considerando la dinámica sedimentaria eólica dominante para este período, el modelo de funcionamiento del sistema dunar, establecido de forma esquemática, sería el siguiente: las arenas, que entran en el sistema por la playa del Inglés, permiten la formación de una serie de cordones de dunas transversales. Éstos presentan una clara alineación NE-SO, y se extienden hasta alcanzar el sector oriental de la playa de Maspalomas, al oeste de la punta de la Bajeta.

Sin embargo, este esquema tan sencillo queda roto al considerar el papel que juega la terraza del Inglés en esta dinámica, al configurarse como un elemento clave, que condiciona el tránsito de los sedimentos por el sistema. En este período, esta geoforma juega un doble papel: en las áreas situadas al sur, donde se produce el principal movimiento de las arenas, induce una modificación parcial en la trayectoria que siguen los sedimentos. Pero, al mismo tiempo, en las áreas ubicadas al norte, reduce considerablemente la aportación de sedimentos, por lo que, en ellas se detecta una mayor estabilización de la arena.

Así, la primera cuestión a abordar es el hecho de que la terraza sedimentaria produce una modificación en la dirección de los vientos y los sedimentos. Su papel como pantalla eólica se deja sentir en la retención de una gran cantidad de arenas, que se acumulan al pie de su talud oriental, por lo que no aparecen espacios interdunares. De este papel como área de frenado y acumulación de los sedimentos queda constancia, además, por la escasa distancia a que se encuentran los depósitos situados en el sector norte (A1) en relación a la línea de costa, a diferencia de lo que sucede al dirigimos hacia el sur (A2).

Igualmente, resulta significativa la desviación que induce en la dirección del flujo eólico y, con ello, en la mayor parte de los sedimentos. Ésta se produce de forma paulatina, y se constata en el giro que experimentan los cordones transversales. A pesar de que éstos comienzan su avance por el sector norte de la franja del Inglés (A1), con una alineación transversal a la dirección de los vientos efectivos NE-SO, conforme se adentran hacia el interior del espacio (C8) se sitúan de forma perpendicular a la dirección NNE-SSO. Lejos de la influencia de la terraza, el esquema de avance en el sur de la franja del Inglés (A2) es bien diferente, de modo que la alineación inicial, E-O, de los cordones transversales se mantiene inalterada, aunque éstos se encuentran más separados entre sí, lo que da lugar a la aparición de espacios interdunares. En su avance natural hacia el interior del sistema (C8), estos depósitos adquieren grandes dimensiones, al haber contactado con los sedimentos procedentes del sector norte de esta franja (A1), cuya dirección es determinada por la propia terraza sedimentaria.

De cualquier forma los sedimentos, que alcanzan el sector sur del interior del espacio dunar (C8), transitan convertidos en amplios cordones dunares, con alturas superiores a los 11 metros, hasta llegar a la costa en la playa de Maspalomas. Conforme los sedimentos se aproximan al sector occidental de esta playa pierden altura y adquieren una dirección E-O en su desplazamiento, hasta que alcanzan la desembocadura del barranco de Maspalomas, en la Charca.

En relación al papel de la terraza como condicionante del tránsito de los sedimentos por el sector norte del espacio dunar, es posible identificar el paso de sedimento arenoso por su sector sur (B3), lo que garantiza la llegada de materiales a la parte norte del interior del sistema (C6). Este trasvase sedimentario se realiza mediante el ascenso de dunas rampantes por los pequeños barrancos que se localizan en el talud de barlovento, así como por el avance de dunas barjanas por el techo de la terraza, una forma habitual cuando el balance entre vientos efectivos y sedimentos disponibles es favorable a los primeros. Una característica especial de estas formas dunares es la tonalidad oscura que presentan, hecho que se explica por un mayor contenido en elementos minerales más pesados, lo que indica un proceso de granoselección del sedimento según su composición.

En el límite occidental de la terraza sedimentaria (B4) se produce una importante acumulación de arenas, en forma de depósitos morfológicamente irregulares y de tonalidades oscuras. Estas formas suponen el almacén que alimenta de sedimentos a las áreas septentrionales del interior del sistema dunar (C6 y C7). En la situada al norte (C6), los sedimentos presentan un tono claro, debido a una mayor presencia de partículas organógenas.

En este sector, el tránsito de los sedimentos se produce en forma de cordones transversales durante los primeros 500 metros, considerando como punto de partida la terraza sedimentaria. Sin embargo, la existencia en el área central de una antigua duna, en este período totalmente fijada por una amplia cobertera vegetal, y de la propia vegetación que la caracteriza, produce un cambio en el tránsito de las arenas, que se ven obligadas a avanzar por dos pasillos, ubicados al norte y al sur de esta geoforma. Del mismo modo se produce una variación en la morfología de las dunas, que serán barjanas hasta el final de su recorrido.

Por su parte, el sector de las hoyas (C7) recibe aportes del sector occidental de la terraza (B4) y su tránsito se caracteriza por la presencia de dunas barjanas durante los primeros

500 metros. A partir de este punto, en que aparecen unos bosquetes de tarajales, se reduce la circulación del sedimento, conformándose otro tipo de acumulaciones, muy condicionadas por la vegetación. El déficit sedimentario en el sector occidental da lugar a la generación de procesos de deflación eólica y, con ello, a la aparición del sustrato aluvial infrayacente, así como de arenas humedecidas por capilaridad, en los alrededores del lugar conocido como Hoya de las Fuentes.

5.2. Caracterización del área a finales de los años 70

La única información con la que contamos para conocer el área de estudio a finales de los años 70 son algunas fotografías oblicuas y las fotografía aéreas del vuelo de marzo de 1977. Por esta razón, el único análisis posible para esta fecha es el comentario de la interpretación geomorfológica realizada a partir de las mencionadas fotografías. En primer lugar abordaremos la geomorfología eólica, considerando las unidades sedimentarias y los elementos que caracterizan para esta fecha al sistema dunar. Seguidamente, a modo de conclusión, se establecen algunas consideraciones sobre el funcionamiento del sistema.

5.2.1. Geomorfología eólica a finales de los años 70

El desarrollo del turismo desde mediados de los años 60 ha supuesto una transformación de los elementos que caracterizaban a este sistema, por lo que se aprecia un importante cambio. Así, la ocupación de los alrededores del espacio dunar es significativa, y ello se traduce en una alteración relevante de la dinámica sedimentaria natural de las arenas. Además de la ocupación del área norte del sistema por el campo de golf (lo que ha supuesto la desaparición de algunos enclaves dunares residuales, que se localizaban entre las áreas de cultivo), se ha producido un importante crecimiento urbanístico en los alrededores de la Charca, localizándose incluso dos edificaciones (el hotel Dunas y el centro Helioterápico) en el interior del propio sistema dunar. Pero, sin duda, es la terraza del Inglés la que acoge un mayor desarrollo, pudiéndose observar una amplia expansión de la urbanización, que cubre su práctica totalidad. No obstante, esta

urbanización no se encuentra plenamente desarrollada en esta época, quedando aún muchos espacios interiores por construir. Por lo que respecta al espacio dunar, son escasas las edificaciones que limitan con él. Pero el desarrollo del negocio turístico ha propiciado la ocupación de algunas áreas fuera del límite de la terraza, en la franja litoral. En este sentido es de destacar localización de varios kioscos de grandes dimensiones (aproximadamente 100 m²), hamacas y sombrillas, ubicados en la playa alta, en el contacto con las primeras acumulaciones de arenas. En conjunto, el espacio dunar ha sufrido una reducción considerable, ya que, con 3,59 km², ocupa el 83% de la superficie que presentaba 15 años antes.

5.2.1.1. La Franja del Inglés (A)

La ocupación de la terraza del Inglés por la urbanización del mismo nombre tiene unas consecuencias inmediatas en todo el sistema, que comienzan por una variación sustantiva de la dinámica de la entrada de los sedimentos en el sistema, precisamente desde su área fuente.

5.2.1.1.1. El Sector norte (A1)

La edificación de la terraza del Inglés supone una mayor acumulación de arenas en esta unidad. Este hecho se puede comprobar en algunos elementos claves: por un lado, la desaparición de algunos cordones dunares que se localizaban al pie de la terraza, y paralela a ella, en la parte norte de este sector. En su lugar quedan unas acumulaciones que, si bien guardan la apariencia de formas dunares, no presentan ningún tipo de alineación. Al mismo tiempo, en el tramo medio de la unidad, se produce una mayor acumulación de sedimentos y, el cordón dunar que se localizaba paralelo al talud de la terraza en fechas pasadas, adquiere la configuración de unas dunas eco, que presentan, puntualmente, una gran altura. Ello permite que, en algunas ocasiones, las arenas alcancen el techo de la terraza (figura V.11). El tercero de estos hechos está relacionado con la desaparición de la mayoría de los espacios interdunares, lo que se interpreta como

indicativo de una mayor acumulación de arenas secas. Por último, también se observa una mayor inflexión en el giro que experimentaban los sedimentos en el área sur, como consecuencia del re-direccionamiento que ejerce la terraza en el flujo eólico.



Figura V.11. Tránsito sedimentario en el sector norte de la franja del Inglés

Así pues, el papel de la terraza como obstáculo al paso de los vientos y los sedimentos se ha acentuado y, con ello, la imposibilidad de las arenas para acceder al techo de la terraza y continuar su avance hacia el interior del sistema. En consecuencia, se genera un superávit sedimentario que, sin duda, pondría en peligro la supervivencia de la urbanización, si no fuera porque, la propia urbanización, supone un refuerzo en el efecto de pantalla eólica que ya ejercía la terraza. Así, los vientos y los sedimentos se ven condicionados, al menos parcialmente, a girar hacia el sur.

Tal y como hemos señalado, se han producido otros hechos igualmente relacionados con el desarrollo turístico del área. La ocupación de la playa alta por numerosos equipamientos, destinados a acoger la demanda turística (figura V.12), tiene consecuencias sobre la dinámica sedimentaria, ya que se generan pasillos de sombra eólica tras esos obstáculos. Son de destacar seis pasillos, que corresponden con los

kioscos de grandes dimensiones localizados en el sector. Su extensión ronda el centenar de metros, siguiendo la dirección de los vientos dominantes. Considerando estas alineaciones de norte a sur, las dimensiones de estos pasillos son: 118, 98, 122, 94, 172 y 122 metros.



Figura V.12. Equipamientos turísticos en la playa del Inglés

Por su parte, los ejemplares de *Traganum moquinii* que se ubican en este sector han experimentado un incremento en sus portes, aunque no se aprecian nuevos ejemplares. Este hecho puede estar relacionado con el desarrollo turístico del área y la circulación de las aguas residuales en los materiales coluviales que conforman el basamento de este sector y en la utilización de estos ejemplares vegetales como áreas de desagüe de los kioscos.

5.2.1.1.2. El Sector sur (A2)

Conforme nos dirigimos hacia el sur de esta franja, las morfologías de las acumulaciones de sedimentos mantienen su estructura transversal, aunque los espacios

interdunares reducen su superficie, pasando a ocupar 2,5 has (3% de la superficie de este sector). Esto representa un claro síntoma de la existencia de una mayor acumulación de sedimentos. Por contra, la distancia media entre el primer espacio interdunar y los balcones situados en la primera línea de la playa alta ha experimentado un notable aumento, situándose a 105 metros.

El área sur, cercana a la punta de la Bajeta, ha sido ocupada por una gran cantidad de goros cortaviento, realizados por los usuarios de la playa para protegerse del viento y de la arena para lo que se utilizan los materiales que conforman las paleo-barras litorales, que afloran en algunos puntos.

Frente a lo observado en el sector norte (A1), no se aprecia incremento en los portes de los ejemplares de *Traganum moquinii*, lo que parece confirmar la idea de que dicho aumento es debido a una mayor cantidad de aportes de agua que en el sector sur no se producen.

5.2.1.2. La terraza sedimentaria (B)

La urbanización de la terraza sedimentaria supone la interrupción del paso de los sedimentos por su sector sur (B3), así como la progresiva desaparición del sector oeste (B4), donde se producía la caída de las arenas y la creación de un almacén sedimentario que alimentaba al sistema interior. En su lugar ha aparecido un talud de escombros. Este sector, al igual que las grandes dunas piramidales que se localizaban al pie de la terraza, fue utilizado, al menos parcialmente y durante algunos años, como cantera para la extracción de arena destinada a las obras de construcción de la urbanización, funcionando como cantera (figura V.13).

Por el contrario, se genera ahora una nueva área, el vértice sur (B5), que ocupa parte del mencionado B4.



Figura V.13. Extracciones al pie de la terraza del Inglés

5.2.1.2.1. El vértice sur (B5)

Tras la edificación, este sector es producto de la creación de un vórtice eólico, y el consecuente giro que experimentan los sedimentos, rodeando el obstáculo que supone la urbanización del Inglés. Se manifiesta como un área de unas 8,5 has que se sitúa ocupando todo el vértice sur de la terraza, parte del sector de las hoyas (C7) y extendiéndose unos 400 metros hacia el interior, siguiendo el talud a sotavento de este obstáculo. Las formas que lo caracterizan son dunas en herradura que llegan a presentarse, en su área terminal, transversales a la dirección S-N.

A partir de esta época, esta área se configura como el nuevo almacén de sedimentos para el sistema interior (C), proporcionando arenas al sector de las hoyas (C7) y a la parte meridional del área norte (C6).

5.2.1.3. El interior del sistema (C)

El interior del sistema es una de las áreas donde se observan, con mayor nitidez, las consecuencias indirectas de la edificación de la terraza del Inglés. Situada parcialmente a sotavento de esta geoforma, la reducción drástica de los aportes sedimentarios ha dado lugar a cambios muy significativos: la estabilización de las dunas y el subsecuente desarrollo de la vegetación son los procesos más característicos, así como el aumento de sedimentos en el sector sur.

5.2.1.3.1. El área norte (C6)

El primer hecho significativo en esta área es la reducción que experimenta, en su sector septentrional, la superficie afectada por la circulación de arenas. La ocupación de las antiguas tomateras por el campo de golf, ha hecho que también desaparecieran las geoformas eólicas que se localizaban en este sector a principios de los años 60.

En la que ha sido señalada como área de estudio, por el contrario, las geoformas no desaparecen, sino que tienden a la estabilización, al tiempo que la vegetación experimenta un importante desarrollo. La interceptación de las arenas que atravesaban la terraza sedimentaria por su sector sur (B3), y configuraban formas de acumulación en su sector oeste (B4), ha producido una merma importante en los aportes, por lo que el sistema tiende a estabilizarse. Considerando la carencia de aportes, se hace necesario comentar algunas ideas de cara a aclarar este proceso: en primer lugar, se ha producido una importante reducción del flujo eólico, como consecuencia de la ubicación de este sector a sotavento de la barrera arquitectónica, por lo que ya no se produce la movilidad observada en el sedimento para fechas pasadas. En segundo lugar, se observan formas dunares que, a pesar de no presentar movilidad aparente, no han sido colonizadas por la vegetación, por lo que no se trata de formas fijadas por esta cobertura. De esta forma, el razonamiento que nos permite comprender este proceso es el siguiente: de haber existido un flujo suficientemente intenso como para movilizar los sedimentos ya existentes en el sector, deberían aparecer formas dunares móviles en el área occidental. Sin embargo, la

existencia de estas formas en todo el campo, algunas de ellas sin presentar signos de movilidad y sin cobertura vegetal, permite concluir que los sedimentos se han estabilizado.

A su vez, la vegetación ha incrementado notablemente la superficie ocupada en dos sectores: el primero, al pie de la terraza sedimentaria, en las áreas ocupadas hasta principios de los años 60 por las acumulaciones de arena que conformaban el sector oeste de la terraza (B4). Siguiendo el recorrido hacia el interior, es palpable la localización de pequeños núcleos de *Tamarix canariensis* entre las formas móviles residuales ubicadas en la Hoya Quemada, único enclave donde aparecen cordones transversales. Pero, sin lugar a dudas, es el área intermedia de este sector donde la vegetación ha experimentado un mayor crecimiento, de tal forma que ha conseguido desarrollar una cobertura prácticamente continua, que se extiende desde el límite con el campo de gol hasta los altos de la Hoya Quemada. Así, aunque el sedimento pudiera movilizarse, se encontraría una barrera vegetal infranqueable que ocupa el sector de norte a sur.

Este crecimiento de la vegetación, en la parte central del área, ha conseguido aislar dos sub-sectores. El oriental está representado por los mencionados cordones transversales de Hoya Quemada, así como por algunas dunas barjanas que se localizan justo al norte de este enclave. En cuanto a los primeros, se trata de unas formas que, dada su localización, posiblemente sean las únicas que reciban aportes del vértice sur de la terraza (B5); en relación a las segundas, aparecen en el lugar que 15 años antes ocuparan algunos cordones dunares, lo cual constituye una buena muestra de la importante reducción de aportes que se ha producido.

Por su parte, el sector occidental, caracterizado a principios de los 60 por presentar una cierta cantidad de dunas barjanas perfectamente dibujadas, tan sólo conserva retazos de estas formas de acumulación que, faltas de nuevos aportes y de flujo eólico, manifiestan

una actividad terminal. Mantienen la misma fisonomía, aunque su número se ha reducido notablemente.

5.2.1.3.2. El sector de las hoyas (C7)

Al igual que el anterior, esta unidad sufre una importante transformación como consecuencia de la edificación de la terraza sedimentaria del Inglés. El primer hecho que destaca es la reducción de su superficie hacia el noreste, toda vez que sobre ella se incrementa la acumulación de sedimentos en el extremo del vértice sur de la terraza (B5). Al mismo tiempo, se amplía hacia el sector sur del sistema interior (C8), como consecuencia de la reducción del flujo eólico, que ha sido interrumpido por la edificación. En definitiva, el sector de las hoyas mantiene ahora algunos aportes provenientes del vértice sur (B5), aunque éstos ya no llegan en suficiente cantidad, tal y como lo hicieron a principios de los años 60. Por contra, hacia el sur, se mantienen las condiciones de viento favorables a la movilidad de los sedimentos, por lo que la generación de procesos de deflación es una de las características principales de esta área. De este modo, al intensificarse estos procesos, aflora el sustrato en muchas zonas, cuya mayor humedad facilita aún más la colonización vegetal. Esto, a su vez, determina una mayor estabilización de los sedimentos.

Todo ello explica el notable incremento superficial experimentado por la vegetación, sobre todo en el sector más cercano a la terraza. No obstante, el proceso se generaliza por toda el área: las comunidades vegetales se densifican, presentando mayores coberturas que 15 años antes (figura V.14), y adquiriendo, en líneas generales, una configuración semejante a la actual. En este sector cercano a la terraza, los antiguos bosquetes aislados de *Tamarix canariensis* que localizábamos a principios de los años 60, y que, previsiblemente se desarrollaban sobre zonas deprimidas, con mayor humedad, se han convertido en los núcleos de crecimiento de comunidades mucho más extensas, lo que muestra que los aportes sedimentarios a este sector se han reducido. Al tiempo, en medio de las áreas ocupadas por sedimentos móviles, aparecen tarajales aislados, que sostienen

una lucha por su supervivencia frente a las dunas, lo que repercute en el movimiento de estas geoformas.

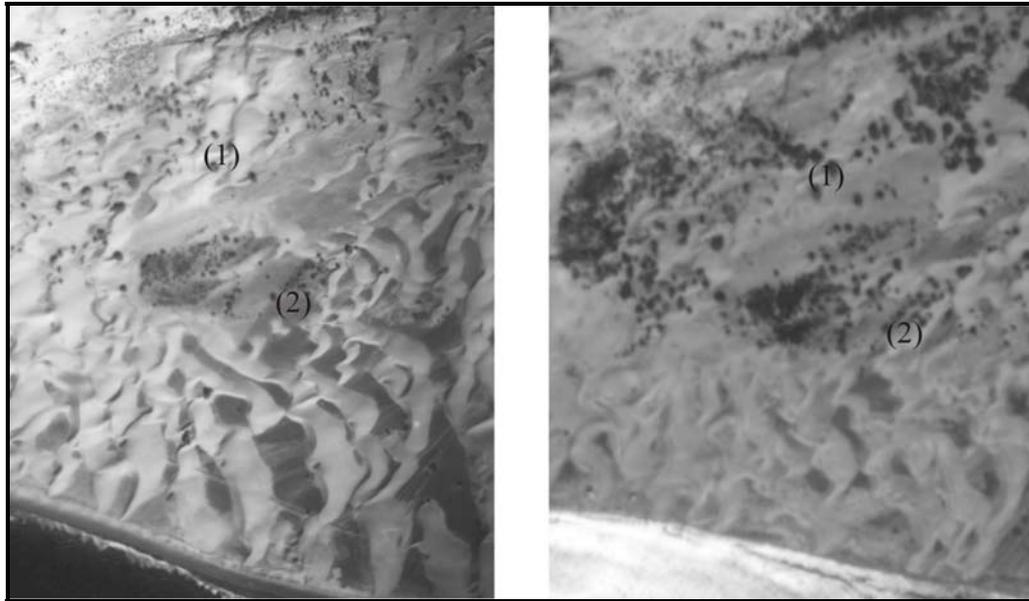


Figura V.14. Evolución de la vegetación en el interior del sistema entre 1962 (izquierda) y 1977 (derecha)

Así las dunas barjanas, que salpicaban los primeros tramos, casi han desaparecido, reduciéndose su presencia a algunos enclaves aislados en el contacto con el sector sur (C8). En su lugar aparecen algunas acumulaciones de arena que no responden a patrones formales definidos. El tránsito de los sedimentos hacia el interior del sector se produce por pasillos entre la vegetación, dando lugar a geoformas que ya observábamos a principios de los años 60, pero que se ven reducidas en cuanto a su extensión, toda vez que la vegetación se ha desarrollado notablemente, fijando las dunas.

En el área occidental también se produce un importante desarrollo de la vegetación, sobre todo en la Hoya de las Aulagas. La explicación a este hecho está determinada, una vez más, por la propia urbanización del Inglés. El déficit sedimentario por ella generado, unido a la continua presencia del viento, determina procesos de deflación que, en este

subsector, tienen como consecuencia la aparición de arenas humedecidas por capilaridad y, previsiblemente, atendiendo a la vegetación que se desarrolla aquí, con menor contenido en sales.

En contrapartida, el sector sur de esta unidad experimenta un aumento de sedimentos, hecho que se observa en la reducción superficial de la llanura de deflación localizada en el contacto con el sector sur (C8). Así, ésta pasa a ocupar 7.800 m², frente a los casi 16.000 que ocupara a principios de los años 60. La explicación que damos a este proceso es la siguiente: el sedimento que se desplazaba hacia los sectores norte del interior del espacio dunar (C6 y C7), atravesando por encima de la terraza sedimentaria (B3 y B4), se ve ahora obligado a dirigirse hacia el sur, empujado por los vientos que han sido condicionados por el refuerzo que ejerce la urbanización, en forma de pantalla eólica, en un giro que identificábamos en el sector norte de la franja del Inglés (A1). Este mayor tránsito sedimentario hacia el sur de la terraza condiciona una mayor presencia de arenas secas y, en consecuencia, una menor extensión de los espacios interdunares.

5.2.1.3.3. El área sur (C8)

Este proceso de reducción de los espacios interdunares se identifica, igualmente, en este sector: en esta década ocupan una superficie total de 7,7 has, frente a las 13 has de principios de los años 60. Así, los sedimentos se ven limitados en su avance por el efecto de pantalla eólica de esta urbanización, viéndose reconducidos por el giro que experimentan al sur del sector norte de la franja del Inglés (A1). A pesar de que los espacios interdunares indican un recorrido de los cordones transversal a la dirección NE-SO, éstos se ven condicionados, en su desarrollo, por el talud de barlovento de la terraza, apreciable en todo el recorrido de los sedimentos hasta alcanzar la playa de Maspalomas.

5.2.1.4. El sector occidental (D)

Este sector experimenta una importante transformación en las dos áreas que lo caracterizan, relacionada con la reducción de aportes inducida por la aparición de la urbanización del Inglés.

5.2.1.4.1. El área oriental (D9)

Esta área experimenta dos cambios significativos: por un lado, la reducción de los aportes sedimentarios, producida por la estabilización de las arenas en el área norte del interior del sistema (C6); por otro lado, el incremento de la vegetación en la Hoya de las Aulagas, que también contribuye a bloquear los escasos aportes que pudieran alcanzar el sector desde las Hoyas (C7). Como consecuencia de esta reducción, se inicia un proceso de deflación eólica en el que algunas formas dunares pierden superficie, identificándose ahora una única duna barjana que avanza por el área norte, a la que, observando la escasez de aportes desde el sector C6, podemos considerar como residual. En el área central aparece una amplia acumulación de arena que no responde a ningún patrón formal claro, mientras que, al sur, se produce la desaparición del único cordón transversal que observábamos a finales de los 60. Éste aparece sustituido por una lámina de arena de grandes dimensiones, que mantiene una gran cantidad de sedimentos activos, aunque, dada la carencia de nuevos aportes y la actividad de vientos efectivos, se encuentra en proceso de deflación.

El otro cambio significativo se debe a la presencia de dos elementos antrópicos de notables dimensiones: el hotel Dunas y el centro Helioterápico. Ambos han sido construidos en este sector, con sus consiguientes vías de comunicación y áreas verdes, por lo que su interacción con los sedimentos se salda también con el frenado de éstos.

443.000

3.069.500



Legenda

UNIDADES SEDIMENTARIAS EÓLICAS

- A1 Franja del Inglés. Sector Norte
- A2 Franja del Inglés. Sector Sur
- B3 Terraza sedimentaria. Sector Sur
- B4 Terraza sedimentaria. Sector Oeste
- B5 Terraza sedimentaria. Vértice Sur
- C6 Sistema interior. Área Norte
- C7 Sistema interior. Área de las hoyas
- C8 Sistema interior. Área Sur
- D9 Área oriental del Barranco
- D10 Entorno de la Playa de Maspalomas
- D11 Barranco y oasis

ACTIVIDAD SEDIMENTARIA EÓLICA

- Actividad actual
- Actividad actual reducida
- Actividad residual con aportes
- Actividad residual terminal
- Inactividad

MODELADO EÓLICO

FORMAS LIBRES

- Dunas barjanas
- Cordones barjanoides transversales
- Láminas de arena

CONDICIONADAS POR LA TOPOGRAFÍA

- Dunas rampantes
- Dunas eco
- Dunas descendentes
- Dunas piramidales
- Dunas en herradura (de vértice)

CONDICIONADAS POR LA VEGETACIÓN

- Acumulaciones a sotavento
- "Lomas" vegetadas
- Dunas vegetadas

OTRAS

- Acumulaciones indiferenciadas
- Acumulaciones eólicas antiguas
- Cordones litorales
- Pavimentos de cantos
- Espacios interdunares
- Llanuras de deflación
- Pasillos de sombra eólica
- Dirección del movimiento de la arena

ELEMENTOS ANTRÓPICOS

- Puesto de la Cruz Roja
- Kioscos de playa
- Goros cortaviento



5.2.1.4.2. Entorno de la playa de Maspalomas (D10)

El sector occidental de la playa de Maspalomas incrementa su superficie, como consecuencia de la reducción que sufre el sector sur del interior del sistema (C8), motivada por la edificación de la urbanización del Inglés. Por lo demás, se trata de un área donde se siguen alineando estrechos cordones dunares, que se presentan transversales a la dirección E-O, al igual que ocurre en el sector sur de la franja del Inglés (A2).

5.2.2. Funcionamiento del sistema dunar a finales de los años 70

El funcionamiento natural del sistema, explicado para los años 60, se ve profundamente alterado al edificarse la terraza del Inglés. De este modo, únicamente pervive el tránsito de los sedimentos por el área sur, hecho que ya se producía en aquella fecha; pero no el que se producía a través de la terraza sedimentaria, que se ve bruscamente interrumpido.

En definitiva, el papel de obstáculo que representaba la terraza en los años 60 se ve ahora acentuado. Así, se incrementa la retención de las arenas que acceden por el área norte de ese sector (A1), y que en los años 60 conseguían atravesar este obstáculo geomorfológico trepando por su talud de barlovento y avanzando por su techo. De este modo, el tránsito de los sedimentos hacia el interior del espacio ha quedado bloqueado en gran medida y, en consecuencia, este déficit sedimentario se traduce, en los sectores interiores, por un aumento de la cantidad de sedimentos disponibles en los sectores ubicados al sur, con mayor actividad.

El avance de los sedimentos por estas áreas sur (A2 y C8) se mantiene de forma casi inalterada, salvo por el aumento de sedimentos disponibles, que se traduce de la reducción espacial de los espacios interdunares. En el sector sur del sistema interior (C8), se ha producido una reducción de su superficie en relación a la que ocupaba 15 años antes, debido al condicionante que presenta la terraza, ahora urbanizada, y que actúa

como pantalla eólica. Esta pérdida supone, parcialmente, una ganancia para el sector de las hoyas (C7) y para la unidad del entorno de la playa de Maspalomas (D10), que sigue manifestando un comportamiento semejante al observado para principios de los años 60, en cuanto a la dinámica sedimentaria eólica.

En relación al segundo papel que entonces atribuíamos a la terraza, como condicionante del tránsito de los sedimentos por el sector norte del espacio dunar, éste se ha reducido notablemente, bloqueando el acceso de los sedimentos al sector norte del interior del sistema (C6). El trasvase de las arenas entre barlovento y sotavento de la terraza ha desaparecido, así como la importante acumulación de arenas que conformaba un depósito en el sector occidental de esta geoforma (B4). En su lugar, ha aparecido una nueva unidad, el vértice sur de la terraza (B5), donde los sedimentos giran para configurar un nuevo almacén, que alimenta escasamente al sector de las hoyas (C7) y, en menor medida, a algunos enclaves orientales del sector norte del sistema interior (C6).

En esta última unidad, el tránsito de los sedimentos casi ha desaparecido y, si bien se presentan algunas de las formas dunares observadas a principios de los años 60, éstas se encuentran estabilizadas, de lo que se deduce una importante carencia del recurso viento. Por su parte, la vegetación ha crecido de forma notable, ayudando así a la estabilización del sedimento. Esta reducción del tránsito sedimentario repercute directamente en el área oriental del barranco de Maspalomas (D9), que al no recibir nuevos aportes, comienza a manifestar un proceso de deflación.

Ese mismo proceso es observado en el sector de las hoyas (C7) que, aunque recibe aportes del vértice sur de la terraza sedimentaria (B5), éstos no son lo suficientemente importantes como para garantizar el tránsito de los sedimentos que habíamos comprobado a principios de los 60, hecho que se observa en el importante cambio experimentado por la vegetación, que presenta ahora un gran desarrollo superficial. De este hecho se deduce que el viento sigue funcionando en esta zona, y que el vértice sur de la terraza (B5) no es

capaz de garantizar el funcionamiento sedimentario eólico en este sector, por lo que se produce una importante pérdida de arena y la aparición del sustrato subyacente, sobre el que la vegetación puede desarrollarse en mejores condiciones que en el móvil. Sin embargo, en el contacto con el sector sur del sistema interior (C8), el tránsito de los sedimentos es notable, por lo que se produce una reducción considerable de la llanura de deflación observada en años anteriores.

5.3. Caracterización del área de estudio a finales de los años 80

Los vuelos de 1987 y 1989 son las fuentes de información básicas para el conocimiento del sistema dunar a finales de los años 80. Las diferencias observadas entre ambos documentos son mínimas, dado que los cambios parecen producirse en escalas temporales superiores. Por ello, durante la redacción de estos resultados, no se hará referencia a ningún vuelo concreto, salvo cuando se trate de comentar el papel de los kioscos en la playa del Inglés.

5.3.1. Geomorfología eólica a finales de los años 80

Las imágenes correspondientes a 1987 y 1989 presentan pocos cambios significativos con respecto a la década anterior. En relación con la urbanización, se ha producido su crecimiento desde el campo de golf, apareciendo los primeros enclaves de la urbanización Campo Internacional. La urbanización del Inglés, ha experimentado un crecimiento notable desde la imagen de 1977. Así, se han colmatado los espacios vacíos, se han desarrollado edificaciones en las líneas de contacto con el espacio dunar y se ha construido el Anexo II, al pie de la terraza, con una configuración muy semejante a la que hoy día presenta.

Por lo que respecta a los sedimentos, algunas de las modificaciones mencionadas tienen consecuencias directas sobre su movilidad, especialmente al norte de la franja del Inglés (A). Sin embargo, es el área interior del sistema la que experimenta los cambios más notables, consolidándose las tendencias ya observadas en 1977: estabilización de los

sedimentos, aumento de los procesos de deflación e incremento de la colonización vegetal.

5.3.1.1. La franja del Inglés (A)

Los cambios en este sector son poco significativos, al menos en cuanto a las formas dunares, que casi no experimentan variaciones con respecto a 1977. Sin embargo, es el papel del hombre el que parece que condiciona de forma efectiva esta franja, especialmente en las zonas de playa. En esta fecha se produce el cambio en los kioscos de playa, que pasan de tener 100 m² a tan sólo 10 m², y se localizan algunos de estos equipamientos (los kioscos 5, 6 y 7) en el sector sur de esta franja (A2) e, incluso, uno en la punta de la Bajeta (kiosco 8), zonas que antes no habían sido utilizadas para este fin.

5.3.1.1.1. El sector norte (A1)

Por lo que a los sedimentos se refiere, en la franja del Inglés se consolida parcialmente la situación de la imagen correspondiente a 1977. Así, las formas dunares en el sector norte (A1) se desdibujan de forma palpable, al tiempo que la acumulación se acentúa. Sin embargo, conforme nos desplazamos hacia el sur, se aprecian algunas formas que denotan una reducción de esa acumulación sedimentaria, con la aparición de un mayor número de espacios interdunares que los existentes 10 años antes.

Con respecto a los pasillos de sombra eólica generados por los kioscos, también se acentúan las dimensiones de la mayoría de ellos. Es significativa, sin embargo, la reducción del situado más al norte, lo que sin duda se debe a la acumulación de arenas en este sector, favorecida por el funcionamiento de la terraza como freno a los sedimentos tras haber sido edificada. Hacia el sur, el siguiente pasillo alcanza los 124 metros de longitud (frente a los 98 que presentaba diez años atrás), si bien su anchura sigue sin ser significativa. Por su parte, los dos pasillos siguientes se han unido definitivamente por la cercanía que presentan los kioscos que los originaron. La morfología entre ambas décadas varía de forma significativa en este tramo, ampliándose notablemente el área de deflación

eólica. De este modo, este pasillo alcanza una cifra de 206 metros de longitud y un máximo de 85 metros de anchura. Siguiendo hacia el sur, los dos últimos pasillos presentan unas dimensiones de 192 metros de longitud y 24 de anchura, y de 166 metros de longitud y 26 de anchura, respectivamente.

5.3.1.1.2. El sector sur (A2)

En este sector, los dos cambios más significativos que se aprecian son la reducción superficial de los espacios interdunares, y el desarrollo que experimentan los goros elaborados por los usuarios de la playa, que se extienden hacia el norte. En cuanto a la primera transformación apuntada, no encontramos ninguna razón aparente que pueda explicarla. Así, cabría pensarse que se ha producido un aumento significativo de sedimentos disponibles, pero la aparición cerca de la punta de la Bajeta de una amplia lámina de arena, parece indicar que tal hecho no se ha producido.

Por otro lado, al igual que para las épocas anteriores, en este punto se ha procedido a medir la distancia entre la playa alta y la primera línea de dunas, obteniéndose una cifra media de 140 metros, mientras que en la década de los 60 era de 70 metros.

5.3.1.2. La terraza sedimentaria (B)

Como consecuencia de su edificación, la terraza sedimentaria ya había perdido, entre los años 60 y los 70, uno de sus papeles fundamentales: el de alimentar al sistema interior. A finales de los 80 se incrementa su carácter de obstáculo, dada la colmatación de edificaciones que experimenta la terraza, sobre todo en su sector sur. Las únicas acumulaciones de arena se localizan en su vértice sur (B5).

5.3.1.2.1. El vértice sur (B5)

El crecimiento urbanístico, y la consolidación de los espacios urbanos en el sector sur de la terraza, reducen la extensión de los depósitos de arena, originados por el giro que experimenta el sedimento, en su intento por rodear el obstáculo geomorfológico. De

esta forma, su superficie se limita a unas 7,5 has, así como su extensión hacia el interior del sistema, que pierde unos 200 metros. Por esta razón, se reducen considerablemente los aportes al área más interior (C6).

5.3.1.3. El interior del sistema (C)

En esta década se consolidan las tendencias iniciadas a finales de los 70: la paralización del sedimento en el área norte (C6), el crecimiento de la vegetación en el sector de las hoyas, así como la ampliación de la llanura de deflación.

5.3.1.3.1. El área norte (C6)

En esta área se ha agudizado el proceso de estabilización del sedimento, ya observado a finales de la década de los 70. Entre las razones que nos llevan a hacer esta afirmación están la desaparición de formas dunares libres, la ocupación de algunas dunas por parte de la vegetación de porte arbustivo y arbóreo y, cabe suponer, un incremento en la colonización de plantas herbáceas. La carencia de aportes sedimentarios, debido a las razones ya comentadas, se encuentra en la raíz de todo el proceso. Desde el punto de vista espacial, la estabilización es más significativa en el área central, donde se produce el cierre definitivo al paso de los sedimentos, al haber ocupado la vegetación arbustiva y arbórea el límite norte del bosque que aquí se localizaba; igualmente ocurre en los dos extremos (occidental y oriental), que experimentan ligeros crecimientos. Por último, los espacios intermedios mantienen algunas dunas terminales activas.

El sub-sector oriental manifiesta cierta movilidad en sus arenas, especialmente en su área sur, donde se mantiene un cordón dunar; al norte de éste, se configura el Alto de la Hoya de la Camella, un enclave dunar que presenta actividad residual, así como un alto grado de cobertura vegetal en sus alrededores. Estos hechos permiten concluir que aún se producen algunos aportes sedimentarios desde el vértice sur de la terraza (B5). Sin embargo, el escaso sedimento que pudiera avanzar hacia el oeste queda atrapado en el área central, por lo que se concluye que la escasa actividad sedimentaria que manifiesta el

sub-sector occidental es, definitivamente, de carácter terminal. Ésta se reduce a una duna móvil, situada hacia el norte, y a algunas acumulaciones sedimentarias al sur, en contacto con el sector oriental del barranco de Maspalomas.

5.3.1.3.2. El sector de las hoyas (C7)

En este sector se consolidan también las tendencias observadas diez años atrás: se acentúan los procesos de deflación eólica, así como el crecimiento de la vegetación, principalmente arbustiva y arbórea, que incide a su vez en la interceptación de los sedimentos. De este modo, la lucha que mantenían, en el sector oriental, algunos grupos de tarajales contra las arenas móviles se ha resuelto con la victoria de los primeros, de modo que aparecen algunas formas dunares resultantes de la paralización del sedimento por la vegetación, principalmente “lomas” vegetadas (*hummocks*, *coppice dunes* o *hillsands*, atendiendo a los términos establecidos en la bibliografía anglosajona). Al tiempo, aparecen nuevos ejemplares aislados de *Tamarix canariensis*, invadiendo zonas que ocuparan anteriormente las arenas móviles del sector sur (C8).

Esta retención de sedimentos produce un déficit en el área interior, donde también aparecen formas dunares condicionadas por la vegetación (lomas vegetadas y acumulaciones a sotavento). Ello implica, a su vez, un déficit en el transporte hacia el sector occidental. En éste, las consecuencias se manifiestan en forma de procesos de deflación, con la aparición de materiales del basamento, así como un incremento espectacular de la extensión de la llanura de deflación, que crece hasta alcanzar 3,2 has, dejando al descubierto las arenas humedecidas por capilaridad.

Por todo lo expuesto podemos afirmar que, en estos años, asistimos a un incremento importante de los procesos de deflación originado, en última instancia, por la edificación de la terraza sedimentaria del Inglés.

443.000

3.069.500



Legenda

UNIDADES SEDIMENTARIAS EÓLICAS

- A1 Franja del Inglés. Sector Norte
- A2 Franja del Inglés. Sector Sur
- B3 Terraza sedimentaria. Sector Sur
- B4 Terraza sedimentaria. Sector Oeste
- B5 Terraza sedimentaria. Vértice Sur
- C6 Sistema interior. Área Norte
- C7 Sistema interior. Área de las hoyas
- C8 Sistema interior. Área Sur
- D9 Área oriental del Barranco
- D10 Entorno de la Playa de Maspalomas
- D11 Barranco y oasis

ACTIVIDAD SEDIMENTARIA EÓLICA

- Actividad actual
- Actividad actual reducida
- Actividad residual con aportes
- Actividad residual terminal
- Inactividad

MODELADO EÓLICO

FORMAS LIBRES

- Dunas barjanas
- Cordones barjanoides transversales
- Láminas de arena

CONDICIONADAS POR LA TOPOGRAFÍA

- Dunas rampantes
- Dunas eco
- Dunas descendentes
- Dunas piramidales
- Dunas en herradura (de vértice)

CONDICIONADAS POR LA VEGETACIÓN

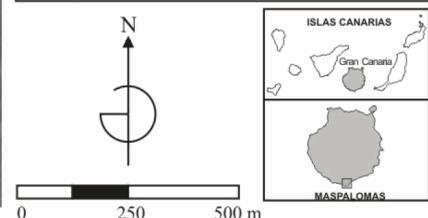
- Acumulaciones a sotavento
- "Lomas" vegetadas
- Dunas vegetadas

OTRAS

- Acumulaciones indiferenciadas
- Acumulaciones eólicas antiguas
- Cordones litorales
- Pavimentos de cantos
- Espacios interdunares
- Llanuras de deflación
- Pasillos de sombra eólica
- Dirección del movimiento de la arena

ELEMENTOS ANTRÓPICOS

- Puesto de la Cruz Roja
- Kioscos de playa
- Goros cortaviento



5.3.1.3.3. El área sur (C8)

Esta área no experimenta cambios significativos, salvo una disminución, escasa, de su extensión hacia el sector norte, motivada por la aparición de nuevos ejemplares de *Tamarix canariensis* que colonizan las arenas móviles.

5.3.1.4. El sector occidental (D)

Esta área no experimenta cambios significativos en ninguno de sus dos sectores que lo componen. Tan sólo se constata la disminución en altura de las formas de acumulación que aparecen en el sector sur del área oriental del barranco de Maspalomas (D9), que hemos clasificado como láminas de arena.

5.3.2. Funcionamiento del sistema dunar a finales de los años 80

Durante este período se consolida la tendencia observada en el funcionamiento del sistema dunar a finales de los años 70, caracterizado por la ruptura de la dinámica sedimentaria eólica en el interior del sistema, como consecuencia del proceso de urbanización desarrollado en la terraza sedimentaria del Inglés, que ha producido un bloqueo en el tránsito sedimentario.

Esta consolidación de la tendencia se constata a través de diferentes hechos. El primer indicio lo encontramos en el área septentrional del sector norte de la franja del Inglés (A1), donde se ha producido un aumento en la cantidad de sedimentos que se acumulan al pie del talud: las formas de los depósitos aparecen desdibujadas, en relación a lo que ocurriera años atrás. Una de las consecuencias más inmediatas es la desaparición del pasillo de sombra eólica ubicado más al norte, que era producto de la interacción de un equipamiento de playa en el tránsito de los sedimentos.

El sector sur de esta franja (A2), por su parte, experimenta escasas variaciones aparentes, aunque parece acentuarse la disminución de espacios interdunares, hecho que ya observábamos a finales de los años 70, y que explicábamos como consecuencia de la

desviación de los sedimentos hacia el sur que inducía la urbanización del Inglés. La aparición de láminas de arena cercanas a la punta de la Bajeta permite descartar, en principio, esta acumulación. Esta idea se apoya, igualmente, en el aumento que vuelve a experimentar la distancia entre el primer espacio interdunar y la playa alta.

También es consecuencia de este desarrollo urbanístico la pérdida de superficie que vuelve a experimentar el sector sur del interior del sistema (C8), debido a la sombra eólica que la terraza proyecta sobre su área septentrional. Así, la construcción de los espacios periféricos de la urbanización, en su contacto con el campo dunar, parece ser la causa principal de esta pérdida sedimentaria, relacionada con el crecimiento que experimentan los tarajales en el contacto con el sector de las hoyas (C7).

En las áreas interiores del sistema se produce la consolidación de la situación descrita en 1977: se pierde movilidad en los sedimentos por la edificación de la terraza sedimentaria (C6), a la vez que se intensifican los procesos de deflación eólica (C7). En el primer sector es la vegetación la que parece cobrar protagonismo, a través del crecimiento de los bosquetes de tarajales que interrumpen, definitivamente, la posibilidad de movilización de sedimento, ya de por sí mermada por la ausencia de vientos y aportes de materiales. La consecuencia de esta estabilización es un crecimiento de las especies herbáceas que, a su vez, consiguen retener más arena. Sin embargo, el sector oriental mantiene algunos enclaves móviles, como consecuencia de la llegada de escasos aportes desde el vértice sur de la terraza del Inglés (B5).

Las consecuencias del desarrollo urbanizador se dejan sentir, igualmente, en el sector de las hoyas (C7), con el explicado proceso de deflación eólica. La disminución de aportes provenientes del vértice sur (B5) explica, a su vez, la ampliación que experimentan las áreas de deflación localizadas en su área sur-oriental. Así, tanto la aparición de cantos (pertenecientes a depósitos aluviales), como de arenas húmedas, corroboran este fenómeno.

Llegados a este punto, cabe empezar a plantearse otras causas que expliquen la pérdida de sedimentos que experimenta el sistema. El hecho es que, considerando un balance global, parece que son más las áreas que sufren una pérdida sedimentaria que las que permanecen estables o tienen ligeras ganancias. El caso más espectacular es la llanura de deflación que aparece en el contacto entre los sectores de las hoyas (C7) y sur (C8) del sistema interior, que reduce su superficie a finales de los años 70 para incrementarla de forma excepcional a finales de los 80. Estos cambios no son achacables, al menos unilateralmente, a ese proceso urbanizador, sino que se plantea la posibilidad de que existan otros motivos relacionados con una carencia generalizada de aportes. Esta idea es corroborada por otro proceso del que se ha realizado un seguimiento: el aumento de la distancia existente entre la playa alta y el espacio interdunar situado a sotavento del primer cordón transversal, en la playa del Inglés, justamente en el lugar que constituye el área de entrada de los sedimentos en el sistema dunar.

5.4. Caracterización del área de estudio a mediados de los años 90

Para la realización de este análisis se ha contado con información proveniente de los vuelos de 1994 y 1995, a escala 1:18.000, apoyada en los ejercicios de fotointerpretación de los fotogramas del vuelo de 1996, a escala 1:8.000, así como el tratamiento de la imagen captada por el sensor ATM en octubre de 1993. Toda la información ha sido volcada en el documento georreferenciado realizado para 1995. Dado que entre los momentos estudiados existen algunas diferencias significativas, y que éstas tienen gran interés para caracterizar algunos procesos, se ha considerado la necesidad de hacer referencias particulares a algunos de estos documentos, especialmente cuando nos refiramos a estudios parciales abordados a través del análisis de las imágenes captadas por el sensor ATM.

5.4.1. Geomorfología eólica a mediados de los años 90

De forma genérica, nos encontramos en un área que ha experimentado algunos cambios significativos con respecto a la década anterior, especialmente en cuanto a la ocupación urbanística. En primer lugar, se ha producido la colmatación total de la urbanización del Inglés, lo que significa la ocupación incluso del vértice sur de la terraza, con la ubicación del hotel Riu Palace; por otro lado, se ha producido la demolición de las edificaciones que ocupaban el espacio dunar, esto es, el hotel Dunas y el Centro Helioterápico. Por último, los kioscos que habían sido ubicados en la trasplaya del sector sur de la franja del Inglés han dejado sentir su presencia, en forma de pasillos de sombra eólica. Algunos de estos cambios tienen consecuencias inmediatas sobre la dinámica de los sedimentos.

5.4.1.1. La franja del Inglés (A)

A diferencia de lo ocurrido a finales de los años 80, esta vez sí se aprecian cambios significativos desde la última fecha estudiada, como es la ocupación de toda la franja de playa alta por los kioscos, lo que significa, al menos en el sector sur (A2), la aparición de pasillos de sombra eólica.

5.4.1.1.1. El sector norte (A1)

La ubicación de los kioscos de reducidas dimensiones, que observábamos para finales de la década anterior, parece no haber tenido efectos sobre las áreas de deflación que actualmente se localizan en este ámbito, y que sustituyen a aquéllos pasillos de sombra eólica que se generaron como consecuencia de la interacción de los grandes equipamientos en la dinámica sedimentaria eólica. Estas áreas de deflación han experimentado cambios significativos desde finales de los años 80 y mediados de los 90, tanto en relación a su morfología como en sus dimensiones. De forma global, han experimentado un aumento progresivo de su superficie. Del mismo modo, aparece una nueva área de deflación, exactamente entre el segundo y el tercer pasillo de sombra eólica

vistos para finales de los 80, considerando la numeración de norte a sur. Las dimensiones de los cuatro primeros, siguiendo esa misma numeración, se presentan en la tabla V.2:

Pasillo	Longitud (m)		Anchura (m)	
	1994	1995	1994	1995
1	30	59	64	54
2	117	93,5	53	39
3	87,5	97	35	37
4	128,5	109,5	41	48

Tabla V.2. Dimensiones de los pasillos de sombra eólica para 1994 y 1995

Por lo demás, el sector mantiene geformas similares a las de unos años antes, salvo por un desplazamiento hacia el sur de algunas formas dunares sin patrón, que forman depósitos sedimentarios al sur del Anexo II, dando la sensación de tratarse de arenas atrapadas por la forma que adquiere la urbanización en ese punto.

5.4.1.1.2. El sector sur (A2)

La localización de los kioscos 5, 6 y 7 en este sector tiene como consecuencia la aparición de pasillos de sombra eólica en un tiempo muy reducido. El primero surge justamente al sur del último pasillo observado desde finales de los años 70 y que, en el último decenio, no había experimentado cambios significativos. Los nuevos pasillos son identificables mediante un análisis de la imagen digital ATM, captada en 1993. A partir de la aplicación de filtrados de paso alto direccionales, y de los tratamientos de realce de los resultados obtenidos, se observa la configuración de tres pasillos localizados en este sector sur, coincidiendo con la ubicación de estos tres kioscos (figura V.15). Las dimensiones longitudinales que presentan son, de norte a sur: 133 m, 128 m y 127 m. Si bien la anchura de los pasillos no sobrepasa en ningún caso los 12 metros a lo largo de todo su trazado, la culminación se produce en forma de área de deflación, donde adquieren unas dimensiones importantes, con 20 m, 25 m y 34 m, respectivamente. Dos años más tarde estas dimensiones se mantienen, salvo en el caso del pasillo generado por

el kiosco 7, que crece de forma alarmante, al presentar 151 metros de longitud por 45 metros de anchura en su parte culminante.

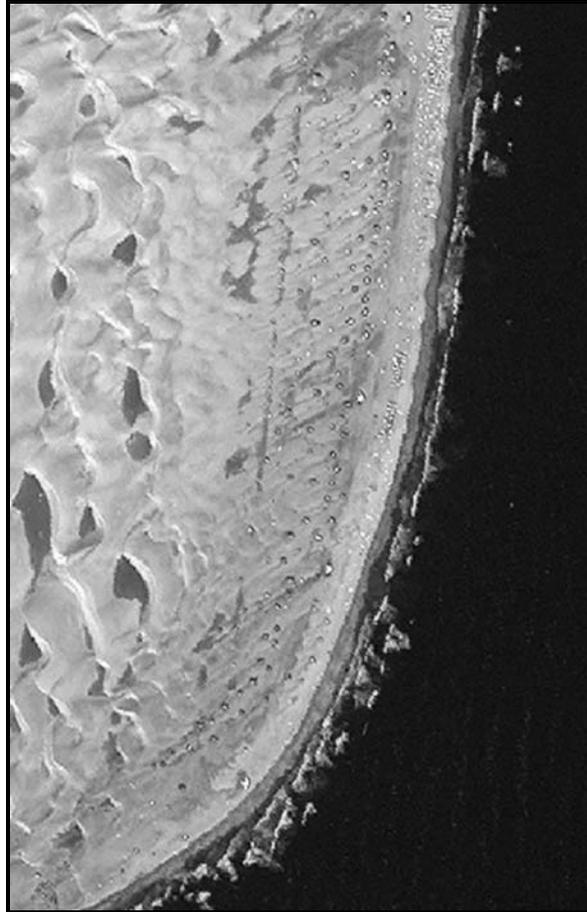


Figura V.15. Pasillos de sombra eólica al sur de la franja del Inglés

Los goros localizados en esta zona inducen procesos semejantes. No obstante, las sombras que crean son de reducido tamaño, dadas las menores dimensiones de estas instalaciones. Sin embargo, el elevado número de goros presentes en este sector y la proximidad entre ellos terminan por configurar una estructura compleja en la que las sombras eólicas se presentan agrupadas, formando áreas de deflación más anchas. Además, su localización en varias líneas posibilita el desarrollo de pasillos que se alargan

hacia el interior, como consecuencia del refuerzo que ejercen los goros que aparecen en las líneas interiores.

En 1993 se detectan unos 115 goros, que presentan una gran cantidad de pasillos de dimensiones variables. Entre ellos destacan algunos, como el ubicado al sur del kiosco 5, que alcanza una longitud de 62 metros. Otros se ven reforzados por el efecto de los goros que se sitúan tras el primero, llegando a unirse varios de estos pasillos. En este sentido, la dimensión máxima observada, en una localización entre los kioscos 5 y 6, es de 113 metros para cuatro pasillos conectados longitudinalmente. Finalmente, otros pasillos presentan una estructura agrupada en la dirección N-S, por lo que llegan a desarrollar áreas de deflación con una anchura que puede alcanzar 21 metros.

Con respecto a otras geoformas, resulta significativo el afloramiento de paleo-barras de callaos en este ámbito del sistema, poniendo de manifiesto la intensidad de los procesos de deflación eólica. Si bien es cierto que durante las décadas anteriores los materiales que las componían solían aparecer de forma ocasional y puntual, ahora son visibles en mayores extensiones. Así, en 1995 se localiza una alineación de callaos situada tras la línea interior de goros, que presenta una longitud N-S de unos 410 metros. De igual forma, ha vuelto a aumentar la distancia entre la playa alta y el primer cordón dunar. Tomando varios puntos de control, la media obtenida es de 194 metros para 1995. Sin embargo, en algunos puntos se observan distancias mayores (hasta 227 metros en el año 1994, y 243 metros en 1995). El espacio intermedio que queda entre la playa alta y el primer cordón transversal es cubierto por láminas de arena.

5.4.1.2. La terraza sedimentaria (B)

Como se ha comentado con anterioridad, durante estos años se ha producido la colmatación del vértice sur de la terraza sedimentaria. Este hecho parece tener consecuencias directas sobre el tránsito de sedimentos a la parte media del sistema, comenzando por el sector sur (B5).

5.4.1.2.1. El sector sur (B5)

El desarrollo urbanístico del vértice sur produce la disminución de aportes a este sector, que pierde unos 150 metros hacia el interior del sistema, por lo que ya no puede garantizar la entrada de sedimentos en el área norte del sistema interior (C6).

5.4.1.3. El sistema interior (C)

En los sectores de esta área se consolida la tendencia observada hasta ahora, tanto en cuanto a la paralización de los sedimentos, como en lo que respecta a los procesos de deflación observados.

5.4.1.3.1. El área norte (C6)

La carencia de aportes en este sector ya es absoluta, por lo que la paralización del sistema es prácticamente total. Tan sólo quedan algunas formas dunares, que se desdibujan, y manifiestan un alto grado de estabilidad, dado que algunas de ellas no muestran avances significativos desde finales de los años 80.

La estabilización del sistema está relacionada, a su vez, con el crecimiento que experimenta la vegetación sobre las arenas, paralizadas por falta de nuevos aportes y carencia de flujo eólico efectivo. Así, el enclave oriental se mantiene con unas dimensiones apreciables. No ocurre lo mismo con el occidental, donde una acumulación de arenas, sin patrón dunar aparente, ha venido a sustituir a la duna barjana que se localizaba en su mismo lugar unos años antes, siendo el único enclave móvil en este sub-sector.

5.4.1.3.2. El área de las hoyas (C7)

El proceso de fijación de dunas, por parte de los ejemplares de *Tamarix canariensis*, sigue siendo uno de los aspectos característicos del área norte de esta unidad, en la que, una vez más, se vuelve a invadir el sector sur (C8) con la aparición de nuevos

ejemplares aislados, que luchan por su supervivencia frente al avance de las dunas. La reducción progresiva de los aportes sedimentarios, procedentes del vértice sur de la terraza (B5), posibilita el desarrollo de procesos de deflación en los sectores intermedios, así como el aumento de la cobertura vegetal por especies colonizadoras de ambientes salinos y arcillosos. Con ello, se produce una mayor retención del sedimento, que no consigue alcanzar las áreas orientales del sector. En éstas, se vuelve a producir la ampliación de las formas de deflación observadas en años anteriores y, especialmente, de la llanura de deflación en contacto con las arenas húmedas, que alcanza una superficie de 5,3 has.

5.4.1.3.3. El área sur (C8)

Al igual que en el período anterior, durante estos años no se observan cambios significativos, salvo los derivados de una ligera disminución del sector como consecuencia de la pérdida de sedimentos. Estas áreas son ganadas por los ejemplares de *Tamarix canariensis*, que avanzan en su proceso de colonización y retienen, cada vez más, los sedimentos.

5.4.1.4. El sector occidental (D)

Al igual que ocurriera a finales de los años 80, no se observan cambios significativos en el entorno de la playa de Maspalomas (D9), aunque sí en el área oriental del barranco (D10). Ésta puede ser considerada ya como un área de actividad residual terminal, dado que no se observan aportes provenientes del sector norte del sistema interior (C6). Al tiempo, los procesos de deflación en esta área empiezan a ser notables, dando lugar a la aparición de unos depósitos de arenas carbonatadas (eolianitas) al sur de la Hoya de las Aulagas.

5.4.2. Funcionamiento del sistema dunar a mediados de los años 90

Durante los años 90 se consolida la situación vista hasta ahora, aunque se aprecian algunos cambios significativos, especialmente en la franja litoral oriental. Al tiempo, la

colmatación de los últimos espacios vacíos que quedaban en la urbanización del Inglés determina transformaciones en algunas geoformas.

Así, la ocupación urbanística del vértice sur de la terraza del Inglés tiene como consecuencia inmediata la disminución de aportes sedimentarios que accedían a esta unidad. Este hecho implica la pérdida de aportes, a su vez, al sistema interior y, muy especialmente, al área norte (C6), donde las formas dunares que se manifiestan pueden ser consideradas como terminales. Al tiempo, esta misma carencia de aportes implica la pérdida de sedimentos que alcanzan la zona media, en el contacto entre el sector de las hoyas (C7) y el área sur (C8), donde los tarajales consiguen frenar sedimentos y formar nuevas lomas vegetadas. Este mismo déficit se observa en el sector sur-occidental del área de las hoyas (C7), donde la llanura de deflación experimenta un crecimiento muy significativo.

En cuanto a las acciones en el litoral oriental, la localización de nuevos equipamientos de playa, más reducidos, no ha conseguido frenar los procesos de deflación en el sector norte de la franja del Inglés (A1). Muy al contrario, las formas se alargan y las superficies aumentan con respecto a la década anterior. La localización de nuevo equipamiento en el sector sur de esta franja (A2) determina la aparición, igualmente, de nuevos pasillos de sombra eólica que, al igual que los goros elaborados por los usuarios, han terminado por producir áreas de deflación significativas, observables mediante la aplicación de técnicas sencillas de teledetección. Finalmente, la aparición del basamento del sistema, en forma de barras de callaos que son exhumadas, conjuntamente con el aumento de la distancia entre la playa alta y el primer cordón dunar, permiten dibujar un panorama de deflación en esta franja, al igual que en todo el sistema dunar.

443.000

3.069.500



Leyenda

UNIDADES SEDIMENTARIAS EÓLICAS

- A1 Franja del Inglés. Sector Norte
- A2 Franja del Inglés. Sector Sur
- B5 Terraza sedimentaria. Sector Sur
- B4 Terraza sedimentaria. Sector Oeste
- B5 Terraza sedimentaria. Vértice Sur
- C6 Sistema interior. Área Norte
- C7 Sistema interior. Área de las hoyas
- C8 Sistema interior. Área Sur
- D9 Área oriental del Barranco
- D10 Entorno de la Playa de Maspalomas
- D11 Barranco y oasis

ACTIVIDAD SEDIMENTARIA EÓLICA

- Actividad actual
- Actividad actual reducida
- Actividad residual con aportes
- Actividad residual terminal
- Inactividad

MODELADO EÓLICO

FORMAS LIBRES

- Dunas barjanas
- Cordones barjanoides transversales
- Láminas de arena

CONDICIONADAS POR LA TOPOGRAFÍA

- Dunas rampantes
- Dunas eco
- Dunas descendentes
- Dunas piramidales
- Dunas en herradura (de vértice)

CONDICIONADAS POR LA VEGETACIÓN

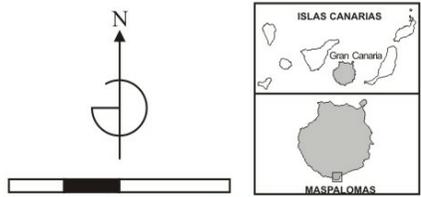
- Acumulaciones a sotavento
- "Lomas" vegetadas
- Dunas vegetadas

OTRAS

- Acumulaciones indiferenciadas
- Acumulaciones eólicas antiguas
- Cordones litorales
- Pavimentos de cantos
- Espacios interdunares
- Llanuras de deflación
- Pasillos de sombra eólica
- Dirección del movimiento de la arena

ELEMENTOS ANTRÓPICOS

- Puesto de la Cruz Roja
- Kioscos de playa
- Goros cortaviento



CAPÍTULO VI. TRANSFORMACIONES EXPERIMENTADAS POR EL SISTEMA DUNAR DE MASPALOMAS EN LOS ÚLTIMOS CUARENTA AÑOS

Una vez analizada la evolución de Maspalomas en cada uno de los intervalos temporales considerados, en este capítulo se procede a realizar un balance final de los cambios experimentados, de sus consecuencias ambientales y de sus causas. Dado que la mayoría de estos cambios es producto de la interacción del hombre en el sistema, la actividad humana será el primer factor tratado, identificando y caracterizando los impactos ambientales generados. Seguidamente, tal y como quedó establecido en la metodología de este trabajo, se consideran los efectos de esta actividad en la dinámica sedimentaria. Para ello se realiza la comparación entre los valores obtenidos sobre la altura de la lámina de arena, considerando los perfiles de 1962 y 1996, así como los volúmenes calculados en cada una de las unidades sedimentarias tratadas en esos intervalos temporales.

Así mismo, se caracterizan los cambios experimentados por la vegetación, cuya progresión no sólo ejerce un papel fundamental en la estabilización de los sedimentos, sino que, al mismo tiempo, representa un excelente indicador de las transformaciones acaecidas en el sistema.

Finalmente, se aborda la incidencia que los aspectos anteriores han tenido en la evolución de la geomorfología eólica; análisis en el que se incluye el estudio comparativo de la variación experimentada por los espacios interdunares, así como la evolución de algunas distancias y superficies de especial significación, tales como la distancia desde la playa alta hasta el primer cordón dunar, o las superficies de las áreas de deflación.

Ya a modo de conclusión, el último apartado sintetiza los cambios experimentados por el funcionamiento del sistema, interrelacionando el conjunto de aspectos considerados.

6.1. Actividad humana

El sistema dunar de Maspalomas ha sido, desde tempranas fechas, lugar de acogida para diferentes actividades humanas. Así lo demuestra la existencia de restos arqueológicos asociados a la presencia de asentamientos de población prehispánica. Lógicamente, los impactos de las actividades aborígenes sobre el sistema podrían ser abordados mediante el análisis de los yacimientos, pero esa cuestión desborda el marco de esta investigación, centrada en un ámbito temporal mucho más reciente.

Son las consecuencias ambientales de otras actividades, más próximas en el tiempo, las que centran este estudio. Entre ellas, se comienza por las derivadas de la actividad agrícola que tuvo lugar, en los alrededores del campo de dunas actual, hacia finales de los años cincuenta y principios de los sesenta del pasado siglo. En este sentido, cabría distinguir entre grandes y pequeños impactos, considerando su diferencia de acuerdo con el espacio que fue alterado. Así, supuso un impacto significativo el desvío del trazado del tramo final del barranco, realizado con el fin de roturar parte del cauce público para ampliar la superficie cultivada. Del mismo modo ocurre con la implantación de cultivos sobre la terraza sedimentaria del Inglés, que supone, durante unos años, una interceptación parcial de los sedimentos que circulaban desde la playa hasta el interior del sistema. Estas cuestiones, que han sido ya apuntadas en apartados precedentes, serán retomadas ahora conjuntamente en este capítulo.

Para el mismo período se identifican también una serie de actividades que sugieren la génesis de impactos de menor dimensión: extracciones de arenas en los depósitos ubicados al pie de la terraza del Inglés, y destinadas a las nuevas tierras de cultivo señaladas; el uso del sistema de dunas interior como área de pastoreo, aprovechando el importante incremento de biomasa que se produce tras lluvias ocasionales; o la caza de aves en la Charca de Maspalomas.

Pero, sin duda, es el desarrollo del turismo de masas en este espacio dunar, el proceso que mayores consecuencias ha generado sobre el sistema natural, dando lugar a un fuerte incremento de los impactos ambientales. También aquí es posible distinguir entre grandes y pequeños impactos. En cuanto a los primeros, se trata de los efectos de la urbanización en la dinámica sedimentaria eólica, que serán tratados detalladamente en este capítulo. Por lo que respecta a los impactos ambientales de pequeño calibre, en los siguientes apartados se procede a su identificación y caracterización, según las acciones que los desencadenan, así como en función de los componentes del medio alterados (geomorfológicos, biófitos,...). Entre ellos, se distinguen los impactos provocados por los equipamientos de playa y los ocasionados por los usuarios.

6.1.1. Impactos producidos por los equipamientos de playa

Estos equipamientos (kioscos, hamacas y sombrillas, así como el puesto de la Cruz Roja) se localizan en la playa alta, por lo que interfieren en el tránsito de los sedimentos desde el estrán. Funcionan como trampas de sedimentos, generando pasillos de sombra eólica, con áreas de acumulación, por frenado del viento, y de deflación, por aceleración del flujo eólico. Por lo que respecta a los kioscos, su influencia se basa en la interceptación de sedimentos en las caras expuestas más directamente al viento, las de barlovento, mientras que en las de sotavento el sedimento se frena por desaceleración del flujo eólico (Hernández *et al.*, 2002). Los efectos son más evidentes en las de sotavento, donde se llegan a producir formas de acumulación que alcanzan, ocasionalmente, más de medio metro de altura. Por el contrario, en las otras dos caras, la aceleración del viento produce pasillos de deflación (figura VI.1) que, a veces, pueden hacer aflorar el sustrato subyacente.

El efecto de todos estos obstáculos se ve mitigado, sin embargo, por las labores de mantenimiento de playas que desarrollan los equipos municipales. Éstos tienen la tarea diaria de “corregir” las irregularidades inducidas por estos obstáculos, para lo que hacen uso de maquinaria pesada. Del mismo modo, la reubicación de los kioscos cada cierto

tiempo impide que estas formas se consoliden en el tiempo. Todo ello se realiza como consecuencia de las determinaciones de la declaración de impacto ecológico del proyecto “Instalaciones de hamacas, sombrillas, kioscos, servicios públicos y áreas deportivas en las playas del Inglés y Maspalomas”. Éstas se adoptan tras la identificación de los pasillos de sombra eólica, mediante la interpretación de la imagen ATM en 1996 (Suárez y Hernández, 1998a y 1998b). Aunque inicialmente estaban previstas para los kioscos ubicados en la playa del Inglés, posteriormente se aplicaron estas medidas, con carácter preventivo, a la totalidad del espacio. También dentro de este proyecto se procedió a cambiar la forma de los kioscos 6 y 7 de playa del Inglés, cuyo diseño actual sobre ruedas facilita su movilidad y permite su salida diaria de la playa.



Figura VI.1. Pasillo de sombra eólica generado por un kiosco

Dado que los impactos que se identifican en las dos playas del sistema, derivadas de la interacción de los equipamientos de playa en la dinámica sedimentaria eólica, presentan diferencias, se ha procedido al tratamiento de estos ámbitos de forma individualizada.

6.1.1.1. La playa de Maspalomas

A la vista de la información tratada, no aparecen indicios de impactos significativos producidos por los kioscos de la playa de Maspalomas. No obstante, y

teniendo en cuenta que cualquier objeto interpuesto a un flujo eólico produce alteraciones en la dinámica de los sedimentos, sí se constatan algunas formas producidas por la sombra eólica de algunos kioscos de esta playa. Éstas adoptan la fisonomía de pequeñas acumulaciones muy localizadas, que no dan lugar a grandes pasillos de deflación y que sólo son detectables mediante la observación de campo. La razón de este hecho hay que buscarla en el papel que juega la playa de Maspalomas en el contexto del sistema dunar, con relación a los vientos y la movilización de los sedimentos.

Considerando el funcionamiento global del sistema dunar, el movimiento principal de las arenas se produce siguiendo una dirección NE-SO. Este hecho determina un comportamiento diferencial entre la playa de Maspalomas y la del Inglés. Así, mientras la segunda se comporta como el área de entrada de arenas en el sistema, Maspalomas lo hace como la de salida de estos sedimentos. En este sentido, y en relación al funcionamiento de los kioscos como inductores de sombras eólicas, esta diferencia se manifiesta en la existencia de grandes pasillos en el área del Inglés, frente a los existentes en Maspalomas, que son de reducidas dimensiones.

Por otra parte, a partir de la edificación de la terraza sedimentaria del Inglés, se produce una alteración de la dirección principal del movimiento de los sedimentos, determinada por la variación en el flujo eólico que induce la urbanización. Este hecho es clave, pues condiciona una menor movilización de sedimentos en el interior del sistema dunar y, con ello, se reduce el avance de éstos hacia la playa de Maspalomas.

Sin embargo a una escala más detallada, y mediante la observación de campo, se puede hacer una distinción entre cada uno de los kioscos situados en esta playa, en función de las diferencias que presentan con respecto a su exposición al flujo eólico, a su localización sobre distintos sustratos o a su cercanía a las ubicaciones de hamacas y sombrillas. En este sentido, y como un dato más del problema analizado, hay que tener en cuenta que en la actualidad se está procediendo al cambio en la localización de estos

kioscos cada seis meses, siguiendo las directrices marcadas desde la Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente del Gobierno de Canarias. Esta medida afecta, igualmente, a hamacas y sombrillas, aunque de manera independiente que a los kioscos.

Con relación a la exposición de los kioscos al flujo eólico, a escala local, se detectan algunas variaciones que desempeñan un papel relevante en la aparición de los pasillos de sombra. De igual forma que en la playa del Inglés, el movimiento de las arenas no es similar en todo el frente de la playa de Maspalomas. Así, se pueden observar áreas que responden a un funcionamiento diferencial, detectándose una menor disponibilidad de vientos efectivos al desplazarnos hacia el sector occidental. Es por ello que los kioscos más cercanos a la zona del faro ejercen un menor papel como trampas de sedimentos. En esta línea, es necesario comentar, igualmente, el efecto que ejerce la charca de Maspalomas, al captar los sedimentos en su interior y reducir, así, el transporte de arena en este sector.

Los únicos rasgos observables, susceptibles de poner de manifiesto la interposición a la dinámica sedimentaria eólica producida por los kioscos de este sector occidental, se reducen a someras acumulaciones de sedimentos en las áreas inmediatamente posteriores a los kioscos, considerando la dirección efectiva de los vientos. Por su parte, en la cara expuesta a este flujo se configuran ligeros socavamientos (figura VI.2).

Los kioscos más alejados de esta área se encuentran más expuestos a los vientos, aunque incluso entre ellos se pueden diferenciar distintas situaciones, de acuerdo a su exposición a los flujos eólicos. En esta línea, destaca el papel que juegan los espacios interdunares, tales como la Cañada de la Penca, que permiten una cierta canalización del flujo eólico, anulando el papel de “cortaviento” que desempeñan las dunas litorales. Por ello, los kioscos situados justo delante de estos espacios interdunares presentan una mayor disposición potencial a la generación de pasillos de sombra eólica.



Figura VI.2. Vista de un kiosco en la playa de Maspalomas y su interacción en la dinámica de los sedimentos

Por otro lado, es de destacar que, en el área donde se asientan los kioscos de Maspalomas, aparecen tres tipos de materiales geológicos, cuyo comportamiento es diferente frente a los vientos y a la dinámica de los sedimentos. El primero de ellos es la propia arena; los otros dos están formados por afloramientos del sustrato subyacente que, de forma localizada, aparece en algunos enclaves. El más significativo corresponde a la terraza sedimentaria más reciente que aflora en el área, y que presenta sedimentos aluviales, algunos retrabajados por la acción del mar. Este material se encuentra retirado de la línea de playa actual, y a un nivel superior al de las arenas que conforman el estrán. Es visible en cualquier época del año, especialmente en el sector donde se ubica el puesto de Cruz Roja de Maspalomas. Este equipamiento se localiza sobre este material, al igual que algunos de los kioscos más retirados de la línea de playa. El otro material corresponde a la paleo-barra más reciente, formada por cantos heterométricos, igualmente retrabajados por el mar. Aparece en un enclave único, situado en el contacto de la Cañada de la Penca con la propia playa de Maspalomas, formando una gran acumulación.

El trabajo de campo permite detectar que los kioscos situados sobre los materiales compactos no producen huellas importantes y, donde éstas existen, no se manifiestan de una forma tan palpable como sobre la propia arena. En este sentido, los únicos impactos

observados en algunos de ellos se reducen a someras acumulaciones a sotavento de los equipamientos (figura VI.3).



Figura VI.3. Somera retención de arenas en un kiosco ubicado sobre la paleo-barra

Por su parte, los kioscos situados sobre las arenas secas, y en las áreas más expuestas a los vientos, son los únicos que potencialmente pueden desarrollar pasillos de sombra eólica. Ahora bien, la aparición de éstos depende de otros factores, tales como la distancia a la que se encuentren los equipamientos de hamacas y sombrillas. En este sentido, destaca el papel que juegan estos otros equipamientos en la dinámica eólica. Al igual que los kioscos, su interposición al flujo de los vientos es significativa, produciendo someras acumulaciones en el entorno de su área de ocupación.

6.1.1.2. La playa del Inglés

Tras la aplicación de filtrados de paso alto direccionales sobre la imagen captada por el satélite IKONOS en julio de 2000, los resultados obtenidos permiten afirmar que, en la actualidad y, en líneas generales, no se encuentran evidencias de la génesis de grandes pasillos de sombra eólica asociados a la ubicación actual de los kioscos. Por otro lado, aquéllos que fueron detectados en 1996, a partir del análisis de la imagen ATM, han desaparecido a lo largo de todo su recorrido, no así en los sectores situados hacia el

interior, donde se ha creado una amplia superficie de deflación. Ésta se caracteriza por la aparición de sectores húmedos, sobre los que los granos de arenas quedan atrapados. Mediante trabajo de campo se ha podido comprobar cómo esa llanura de deflación ha llegado a unirse a otras, preexistentes, que se localizan al norte de la playa del Inglés, dando lugar a una amplia superficie de arenas húmedas.

Retomando los pasillos generados por los kioscos actuales, éstos sólo son identificables mediante observaciones de campo. Estas huellas presentan una gran variabilidad, tanto desde el punto de vista espacial como temporal. Desde un punto de vista espacial, son los kioscos ubicados al sur de la playa del Inglés los que presentan mayores huellas, reduciéndose éstas conforme nos acercamos al norte de la playa. En cuanto a su variabilidad temporal, las huellas presentan una dependencia directa de la existencia de vientos capaces de movilizar el sedimento arenoso. Por ello, son notables cuando soplan vientos fuertes, reduciéndose considerablemente si disminuye la intensidad del viento.

Con vientos flojos, las huellas no pueden apreciarse al norte de la playa, pero hacia el sur se presentan en forma de someras acumulaciones tras los kioscos, que aumentan en longitud, hasta alcanzar entre dos y tres metros tras el kiosco 5, donde el volumen de arenas retenido es más significativo. Lo mismo ocurre con el material que se ve sometido a deflación. Éste es muy poco significativo en toda la playa, aunque presenta un ligero aumento hacia el sur. En el frente de los kioscos se producen ligeros socavamientos de la base y de los laterales de la flecha de acumulación.

El panorama cambia notablemente cuando los vientos se presentan de moderados a fuertes. Las formas son entonces más significativas. Al norte de la playa aparecen socavamientos y acumulaciones que adquieren su mayor envergadura tras los obstáculos, llegando a presentar longitudes comprendidas entre dos y tres metros para los kioscos de playa, y alturas superiores a un metro en algunos casos, por lo que se puede afirmar que el volumen de sedimentos retenidos es muy significativo. Estas medidas son superiores en el

puesto de la Cruz Roja, debido a la mayor superficie que presenta (figura VI.4). Una vez más, conforme nos acercamos hacia el sur, estas formas se incrementan notablemente en longitud, llegando a presentar flechas de acumulación de hasta seis metros tras el kiosco 5, con sus respectivas áreas de deflación asociadas. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en el sector norte, las acumulaciones en el sur no adquieren grandes dimensiones en altura, por lo que se constata que el volumen de sedimentos retenido es menor.



Figura VI.4. Pasillo de sombra eólica generado tras el puesto de la Cruz Roja

Fue precisamente el kiosco 5 el utilizado para determinar la alteración que el viento experimenta en este tipo de instalaciones y, con ello, su posible influencia en la dinámica de las arenas. Tal como se expuso en el capítulo dedicado a la metodología, se procedió a tomar datos de viento en torno al kiosco a lo largo de 22 horas. Las figuras VI.5 y VI.6 muestran los valores obtenidos de la velocidad media y máxima, respectivamente, en cada uno de los sensores, mientras que la figura VI.7 indica los registros obtenidos de dirección del viento. En el análisis de los datos se pueden distinguir tres períodos:

- Desde las 09:10 a las 12:15, la velocidad del viento es de escasa magnitud (velocidad media entre 0,3 y 3,0 m/s) en todos los sensores, con buen grado de acoplamiento entre ellos. La dirección del viento es variable, con registros en todas las direcciones, si bien predominan las componentes del SE y SO.

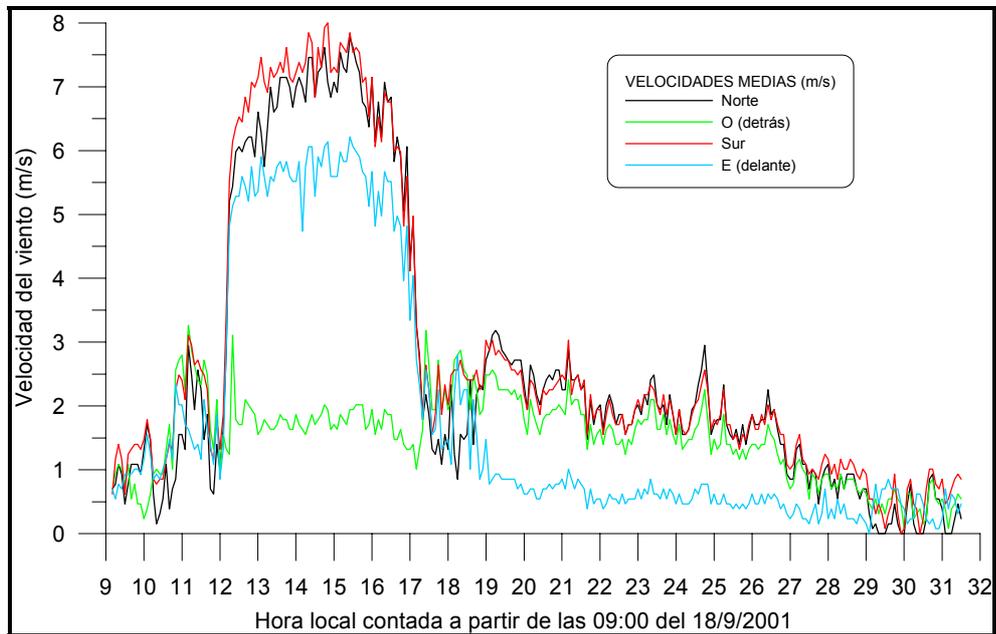


Figura VI.5. Velocidades medias registradas en los distintos sensores

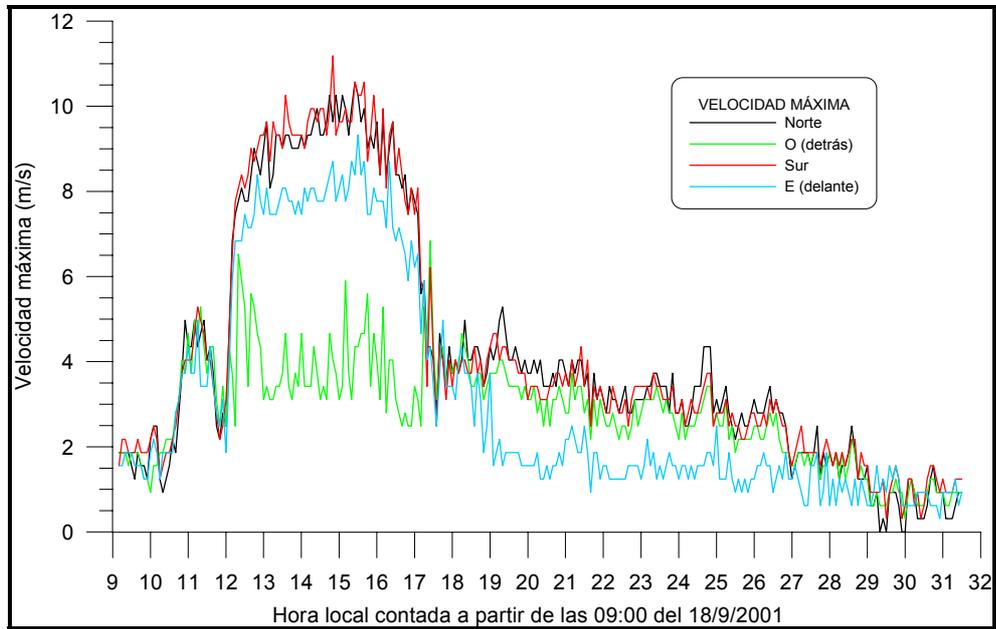


Figura VI.6. Velocidades máximas registradas en los distintos sensores

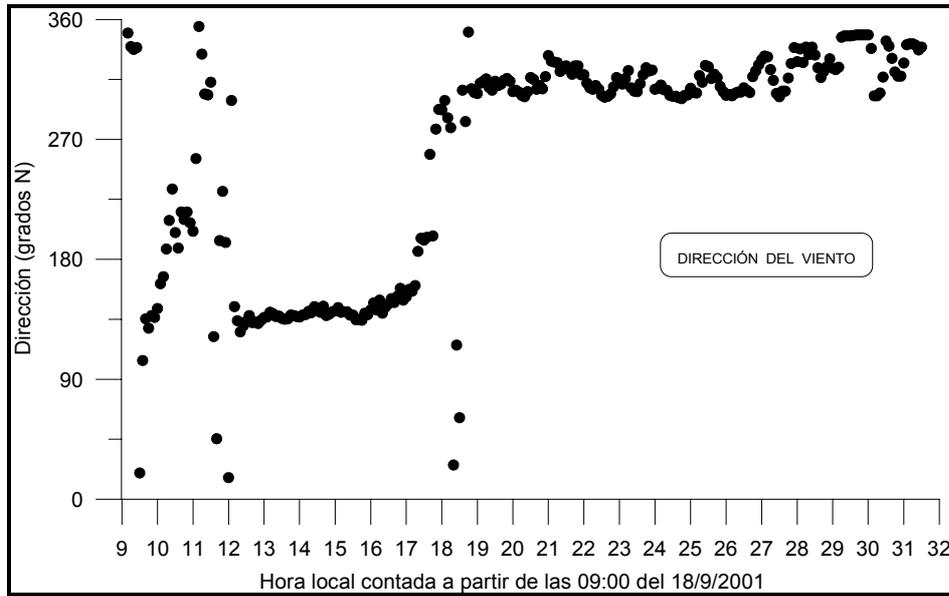


Figura VI.7. Evolución de la dirección del viento

- Desde las 12:15 hasta las 17:00 se producen las mayores velocidades del viento, y la dirección se mantiene muy constante del SE. Los sensores localizados al norte y sur del kiosco registraron valores de velocidad máxima entre 8–11 m/s, y el situado al este (hacia el frente de la playa) velocidades entre 7–9 m/s. Por el contrario, el sensor situado al oeste presenta valores de velocidad máxima que fluctúan mucho (entre 3–6,5 m/s), pero son sensiblemente inferiores a los registrados en los restantes sensores. En este sentido, la velocidad media para el período comprendido entre las 12:30 y las 16:30 es la siguiente:

Sensor S: 7,26 m/s

Sensor N: 6,83 m/s

Sensor E: 5,61 m/s

Sensor O: 1,78 m/s

- Desde las 18:50, y hasta el final del registro de datos, se produjo un importante cambio en dirección e intensidad del viento. La dirección media fue de componente NO (318°N), observándose un leve cambio gradual, de modo que hasta las 02:45 horas predominaba la componente O (310 °N) y, a partir de esa hora, aumentó levemente la componente N (335 °N).

Por lo que respecta a la velocidad del viento, los sensores N, O y S presentaron un acoplamiento perfecto durante todo el período, con un descenso gradual a medida que avanzaba la noche. Así, se pasó de velocidades medias próximas a los 3 m/s, en torno a las 19:00 horas, para terminar con velocidades de 0,5 m/s a las 07:30 de la mañana. El sensor E tuvo un comportamiento levemente diferente, pues sus registros siempre fueron menores a los demás, con valores medios entre 0,5 y 1,0 m/s.

Estos datos ponen de manifiesto la desaceleración que el viento experimenta en la parte posterior de los kioscos, lo que explica la formación de acumulaciones de arena en estos sectores cuando los vientos son fuertes. En este mismo sentido apuntan los datos obtenidos mediante la toma de puntos con estación GPS en torno a los kioscos (tabla VI.1). En ésta, las columnas 2 y 3 representan la media de las alturas de los puntos muestrales del frente y de la trasera de los kioscos, respectivamente, refiriéndose la cuarta columna a la diferencia entre ambas medidas. En su lectura se constata que, en los kioscos situados en la parte norte de la playa del Inglés, se produce una acumulación de arenas de más de medio metro (caso de los kioscos 1 y 3). Ésta va reduciéndose conforme nos acercamos al sector sur de la playa, hasta tal punto que, en algunos kioscos (como los 4 y 5), esta acumulación es nula, debido a la mayor disponibilidad de vientos en este sector.

Kiosco	H Este	H Oeste	Diferencia
k1	6,1	6,6	0,5
k2	6,8	7,15	0,35
k3	6,6	7,75	1,15
k4	6,45	6,15	-0,3
k5	5,85	5,9	0,05

Tabla VI.1. Alturas medidas en torno a los kioscos

Mención aparte merecen los kioscos enumerados como 6 y 7 en la playa del Inglés. Éstos se encuentran sobre ruedas, observándose huellas de deflación en las partes baja y trasera

de los equipamientos (figuras VI.8 y VI.9). No obstante, la acumulación en la parte trasera de los kioscos, así como en sus laterales, es escasa aun con un viento de moderado a fuerte. La explicación a este hecho hay que buscarla en la aceleración del viento que se produce bajo ellos, funcionando entonces como “túneles de aceleración”. Las partículas de arena se ven movilizadas, dejando los materiales más pesados, como los cantos de barranco reabajados por el mar, que aparecen en toda la línea de playa.



Figura VI.8. Parte baja del kiosco 6



Figura VI.9. Trasera del kiosco 6

También las formas generadas al amparo de las hamacas y sombrillas guardan profundas relaciones con la disponibilidad de vientos, ya que estos equipamientos son protegidos por mallas cuando éstos soplan con mayores velocidades. Entonces el sedimento se ve atrapado, no pudiéndose desplazar hacia el interior del sistema dunar y acumulándose en estos sectores. De hecho, las acumulaciones de sedimentos pueden alcanzar más de un metro en algunos casos (figura VI.10). Esta retención de materiales origina un déficit en los sectores inmediatamente posteriores a los equipamientos, donde aparecen áreas de deflación (figura VI.11). Este mismo fenómeno se observa, de forma general, cuando se analiza el perfil longitudinal de la línea de playa: existe una coincidencia entre la presencia de estos cuerpos de hamacas y sombrillas y las áreas que presentan una mayor acumulación de arenas. Lo contrario ocurre en los sectores inmediatamente posteriores a la localización de estos equipamientos. Este perfil permite también detectar una constante pérdida de arenas conforme nos acercamos al sector sur. Esta disminución alcanza un máximo de 1,20 metros, considerando los puntos más alto y más bajo, respectivamente (figura VI.12). Sin embargo, existen fuertes variaciones en el perfil, que responden a la presencia o ausencia de cuerpos de hamacas y sombrillas.



Figura VI.10. Acumulaciones de arena por hamacas y sombrillas



Figura VI.11. Áreas de deflación tras hamacas y sombrillas

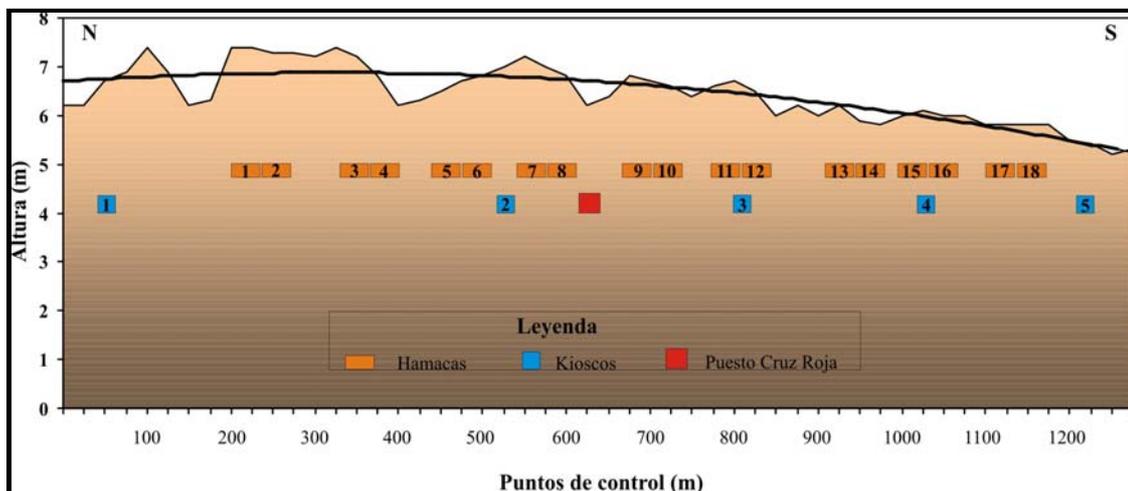


Figura VI.12. Perfil altitudinal de la playa del Inglés y localización de los equipamientos de playa

Precisamente, los datos tomados permiten afirmar que, en general, estos equipamientos producen una importante retención de arenas en la entrada del sistema, hecho que también guarda una relación directa con su ubicación al norte o al sur de la playa. En este sentido, y conforme a los datos expuestos en la tabla VI.2, se podrían establecer dos ámbitos bien definidos: el primero, al norte, está caracterizado por los cuerpos numerados desde el 1 hasta el 12, donde la retención adquiere una media de un metro de sedimento (diferencia entre las alturas de las caras expuestas a barlovento y a sotavento), siendo el máximo observado de 1,25 metros. El otro ámbito, ya más al sur, está representado por los cuerpos

de hamacas del 13 al 18, donde la media de sedimento retenido es de medio metro, con un máximo de 0,6 metros en el cuerpo de hamacas numerado como 16.

Hamacas	H Este	H Oeste	Diferencia	Hamacas	H Este	H Oeste	Diferencia
h1	6,15	7,4	1,25	h10	5,65	6,65	1
h2	5,95	6,9	0,95	h11	5,45	6,6	1,15
h3	5,9	7,15	1,25	h12	5,55	6,35	0,8
h4	5,75	6,65	0,9	h13	5,55	5,85	0,3
h5	5,8	6,4	0,6	h14	5,5	6,05	0,55
h6	5,7	6,65	0,95	h15	5,45	5,85	0,4
h7	5,7	7	1,3	h16	5,4	6	0,6
h8	5,7	6,8	1,1	h17	5,45	5,65	0,2
h9	5,55	6,6	1,05	h18	5,45	5,9	0,45

Tabla VI.2. Alturas medidas en torno a los cuerpos de hamacas y sombrillas

6.1.2. Impactos ocasionados por los usuarios de la playa

Las playas del sur grancanario soportan una intensa ocupación durante la mayor parte del año, siendo las del Inglés y Maspalomas las que reciben el mayor número de visitantes. Este hecho es debido a que, en sus alrededores, se concentra aproximadamente el 70% de la oferta turística del sur de la isla, con unas 140.000 camas (Parreño, 2001). En consecuencia, el número de turistas es importante, aunque también lo es el de los propios habitantes de la isla que utilizan estas playas como áreas de ocio y recreo, principalmente durante la estación veraniega y, más intensamente, durante los fines de semana.

En cuanto al uso que estos usuarios hacen del espacio, y frente a lo que ocurre con otras playas, el ámbito de Maspalomas presenta una característica particular: se trata de un “amplio” sistema de dunas. Este hecho implica que una buena parte de los usuarios no limite su radio de acción a la franja costera, sino que acceda al interior de este sistema, bien para utilizarlo como lugar de paso en sus desplazamientos, bien para permanecer en su interior. En cualquier caso, muchas de sus actividades producen un importante número de impactos ambientales.

6.1.2.1. Impactos sobre los elementos geomorfológicos

En relación a las acciones que producen alteración sobre los elementos geomorfológicos, es necesario distinguir entre las que lo hacen sobre las arenas, y aquellas otras cuyas consecuencias se manifiestan sobre los materiales que forman el basamento del sistema. Con respecto a las primeras, se diferencian dos tipos, según la forma en que se altera el sedimento: las que lo interceptan, condicionando la dinámica, y las que producen su estabilización, principalmente por el pisoteo.

6.1.2.1.1. Impactos sobre las arenas

Con respecto a la interceptación del sedimento, ésta se produce, principalmente, por las estructuras que desarrollan los usuarios del sistema con el fin de protegerse de los vientos y de las arenas. Estas estructuras se desarrollan en dos tipologías, conforme nos encontremos en el interior del sistema dunar o, por el contrario, en su periferia arenosa, las playas.

Las primeras son estructuras amplias (de 4 a 6 m²), normalmente pseudo-rectangulares, que han sido creadas haciendo uso de ramas trenzadas y, ocasionalmente, presentan paredes formadas por materiales geológicos. Se ubican en las áreas interiores del sistema dunar, siendo común encontrarlas en el sector de las hoyas, o en las crestas de las dunas estabilizadas por la vegetación. Normalmente aparecen localizadas junto a grandes ejemplares de *Tamarix canariensis*, hecho que, unido al uso de los materiales utilizados para su confección, los hace recibir el nombre de “nidos” (figura VI.13). Dada la escasa movilidad que presenta el sedimento en los ámbitos donde se localizan, estas estructuras no generan grandes interferencias al tránsito de las arenas. Sin embargo, su continuo uso como lugar de descanso, o para la práctica de actividades sexuales, los convierte en lugares que presentan una notable suciedad, ya en su interior, ya en su periferia, aspecto que será contemplado más adelante.



Figura VI.13. “Nido” en el interior del campo dunar

Las estructuras que se localizan en las playas, por el contrario, han sido realizadas en su totalidad haciendo uso de los materiales geológicos de las barras de callaos. Presentan formas circulares, de unos 4 m², de distintas alturas y, en muchos casos, aparecen asociadas a ejemplares de *Traganum moquinii*. Estas estructuras, denominadas “goros”, se localizan en todo el ámbito cercano a la línea de costa donde existen estas barras, por lo que, en algunas ocasiones, aparecen a cierta distancia de la costa, ocupando algunos de los amplios espacios interdunares del sector sur del interior del sistema dunar (C8). Especialmente notable fue su desarrollo, hasta finales de los años 90, en el sector sur de la playa del Inglés, donde llegaron a formar importantes agrupaciones (figura VI.14). Dada su ubicación, en la zona de entrada de los sedimentos en el sistema, estos goros sí alteran de forma significativa el tránsito de las arenas, toda vez que producen zonas de acumulación o deflación, conforme interfieren en la dinámica eólica, favoreciendo la generación de pasillos de sombra eólica (Suárez y Hernández, 1998b). La mayoría de

estas estructuras han sido retiradas tras la entrada en vigor del Plan Director de la Reserva, si bien reaparecen periódicamente nuevas estructuras, que son construidas por los usuarios de la playa (figura VI.15).



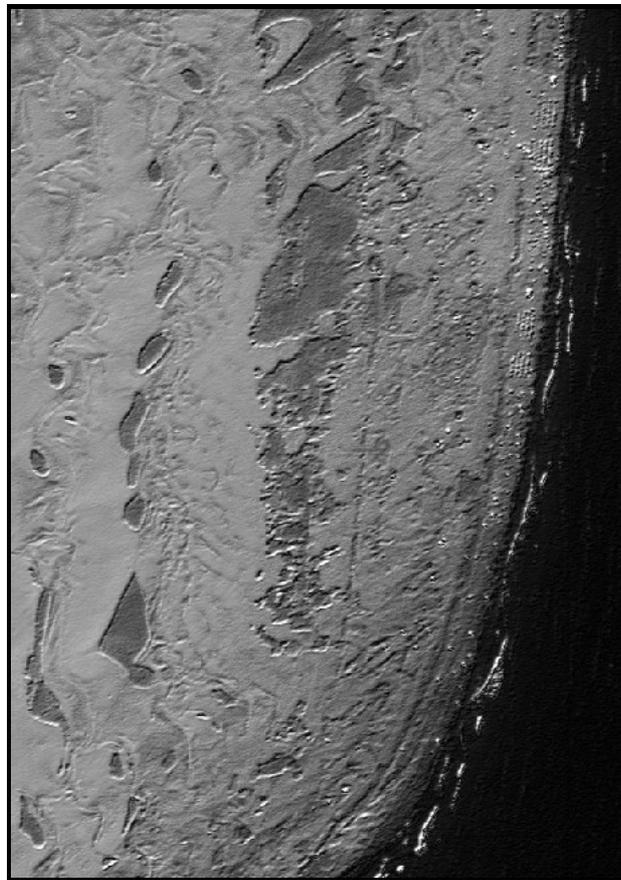
Figura VI.14. Agrupaciones de goros al sur de la playa del Inglés



Figura VI.15. Construcción de un goro

Mediante la aplicación de un filtrado de paso alto direccional sobre la imagen IKONOS (figura VI.16), se pueden observar los pasillos que originan estos goros, tanto los asociados a los ejemplares aislados de *Traganum moquinii*, como los que surgen periódicamente. Se trata de “alineamientos” que, teniendo como origen estos obstáculos,

se adentran hacia el sistema siguiendo la dirección de los vientos efectivos, NE-SO, y llegan a alcanzar, en algunos casos, un centenar de metros de longitud. En cuanto a las alteraciones que producen en la dinámica sedimentaria eólica, les son aplicables las consideraciones establecidas en el apartado anterior para el kiosco 5, según su mayor o menor exposición a los vientos efectivos. Sin embargo, dado que las dimensiones que presentan son más reducidas, las formas generadas son también menores (figura VI.17).



**Figura VI.16. Realce direccional sobre la imagen IKONOS.
Sector sur de la playa del Inglés**



Figura VI.17. Pasillo de sombra eólica generado por un goro

Otra de las acciones inductoras de impacto es el pisoteo de las arenas, un fenómeno identificable en todos los ámbitos del sistema dunar, aunque cobra una importancia especial en las áreas interiores. Éste se produce tanto por el tránsito de individuos como de vehículos de vigilancia. Sus efectos son notables en las dunas litorales, donde se producen actividades frecuentes relacionadas con el ocio y el esparcimiento, tales como hacer uso de las dunas para deslizarse por los flancos de mayores pendientes (figura VI.18). Estas huellas, perceptibles notablemente después de un día de playa, son borradas, aparentemente, por los vientos. Sin embargo, en las áreas interiores, la ausencia de este recurso en el grado en que se presenta en las áreas litorales, así como la mayor estabilización del sedimento, produce unos efectos de larga duración. Éstos son perceptibles mediante el trabajo de campo y la aplicación de algoritmos simples, de mejoras visuales, sobre imágenes digitales (figura VI.19), donde se identifican zonas de paso, en las que la compactación del suelo hace imposible el desarrollo de la vegetación.



Figura VI.18. Actividades desarrolladas en las dunas litorales

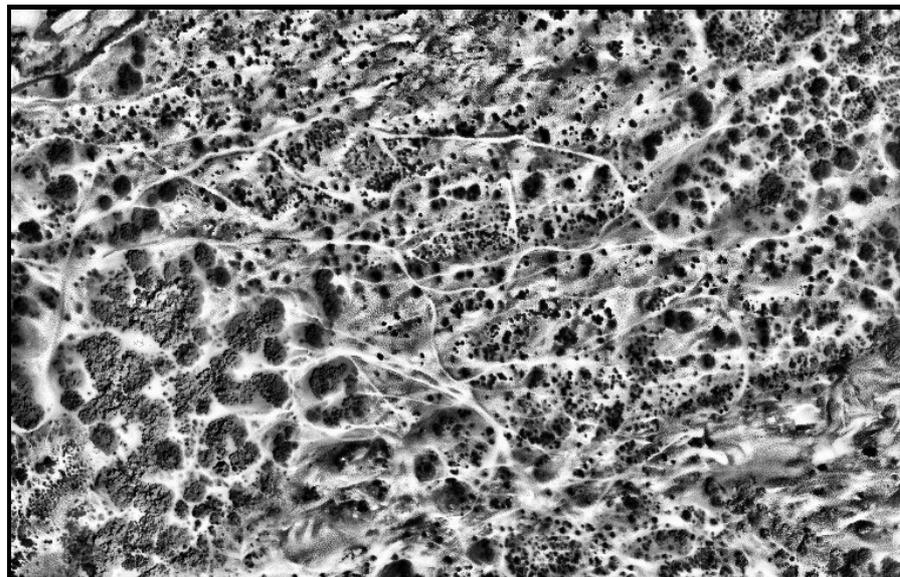


Figura VI.19. Realce lineal del histograma de la imagen IKONOS. Compactación del suelo generado por el pisoteo en el interior del sistema

6.1.2.1.2. Impactos sobre los materiales que conforman el basamento

Los materiales geológicos del basamento del sistema dunar se han visto alterados desde finales de los años 90, como consecuencia de las labores desarrolladas por los equipos municipales del mantenimiento de las playas. Estas labores están encaminadas a la corrección de los impactos vistos anteriormente, producidos por la interferencia de los

kioscos de playa en el tránsito de las arenas, obligada por el Plan Director de la Reserva, del que se deriva la necesidad de proceder al traslado periódico de estos equipamientos.

La realización de estas actividades, mediante maquinaria pesada (tractores y retroexcavadoras), produce una serie de alteraciones en los materiales geológicos infrayacentes. Así, la excavación efectuada para alcanzar la profundidad necesaria, tanto para sacar el kiosco de su lugar original, como para fijarlo en su nueva posición, genera alteraciones importantes en estos materiales. En esta línea, es necesario considerar que estas excavaciones, pueden alcanzar más de dos metros (figura VI.20) a la hora de efectuar estos cambios de ubicación, tanto con respecto a los kioscos, como a los motores que los abastecen de energía. En cuanto a los cuerpos de los primeros, presentan una profundidad, “bajo rasante”, de 1,5 metros, donde se ubican sus almacenes (figura VI.21). Es por ello que se produce el arranque del material de su posición original, alterando así su estratificación natural, para ser después depositado en el mismo lugar pero ya de forma desordenada.



Figura VI.20. Excavación realizada para "extraer" un kiosco



Figura VI.21. Traslado de un kiosco

Desde un punto de vista cualitativo, este impacto sí parece severo, por cuanto se altera la disposición original de los materiales que actúan como soporte a la dinámica sedimentaria eólica, al tiempo que mantienen el equilibrio en el nivel freático, garantizando así el funcionamiento de las comunidades vegetales y, con ello, de los procesos ecológicos que se desarrollan en este espacio, caracterizado por una gran fragilidad. A su vez, se trata de depósitos que representan testigos significativos de la evolución paleoclimática experimentada en esta zona durante el Cuaternario, por lo que poseen interés geológico. Por ello, y teniendo en cuenta que no han sido estudiados, resulta fundamental mantener intacta su estratigrafía.

6.1.2.2. Impactos sobre el medio biótico

Los impactos inducidos por los usuarios sobre el medio biótico parten de su propia permanencia en el interior del sistema, o en las cercanías a la charca de Maspalomas, y de las actividades que se derivan de esta presencia. Algunas de estas actuaciones alteran los hábitos alimenticios de algunas especies de la fauna.

Con respecto a la primera idea apuntada, la construcción de las estructuras corta-viento, ya comentada, se realiza arrancando ramas de ejemplares de *Tamarix canariensis*, especialmente en los “nidos” construidos en el interior del sistema. Del mismo modo, la

elaboración de goros en la costa, asociados a la presencia de ejemplares de *Traganum moquinii*, produce también el arranque de algunas de sus ramas más “molestas”.

Son precisamente estos ejemplares los más castigados por otro tipo de actividades: los usuarios necesitan espacios donde aliviar sus necesidades fisiológicas, por lo que, a falta de servicios en 6 Km de playa, eligen para sus deposiciones individuos de esta especie. Este hecho se hace especialmente notable en los ejemplares que se ubican en los sectores más retirados de la línea de costa, en la playa del Inglés, aunque cobra unos tintes especialmente dramáticos en la cañada de la Penca, en la playa de Maspalomas, donde se ha podido realizar un seguimiento, durante más de un año, de esta actividad, concentrada sobre un ejemplar especialmente notable en cuanto a su porte, pero que, finalmente, no consiguió superar los continuos aportes de residuos humanos (figura VI.22).



Figura VI.22. La muerte "inducida" de un ejemplar de *Traganum moquinii*

En las cercanías de la Charca, los principales impactos derivan del desarrollo de actividades que producen ruidos, así como de determinados actos que pueden causar molestias a la avifauna. Entre éstos, consideramos especialmente importante el vuelo de cometas, algo usual en este sector de la playa. De igual modo, en el interior del sistema se ha detectado la costumbre de alimentar a los ejemplares de *Gallotia stehlini* (lagarto canario), que pierden, aparte de su instinto de autoprotección frente a algunos

depredadores, el de la búsqueda de alimentos, básico para su supervivencia, originado por un cambio en la dieta alimenticia.

6.1.2.3. Otros impactos ambientales

Del mismo modo que, en el apartado anterior, se comentaron las necesidades fisiológicas livianas de los usuarios de la playa, el interior del espacio dunar suele convertirse también en lugar habitual para actos de deposiciones fecales, especialmente en lugares poco transitados y ocultos por la vegetación, como los denominados “nidos”. De igual forma, este ambiente descrito suele ser utilizado para encuentros sexuales, especialmente por parte del colectivo *gay*. Estas actividades generan la existencia de importantes acumulaciones de desperdicios y basuras, por lo que se constata el progresivo deterioro ambiental de estas áreas. Y todo ello a pesar de las labores de limpieza que efectúan periódicamente los equipos de playas, tanto los del Ayuntamiento de San Bartolomé, como los de la Consejería de Medio Ambiente del Cabildo Insular.

Los efectos sobre los usuarios es notable en relación a los olores, tanto en cuanto a estas actividades, como en cuanto a la aparición de basura que, inicialmente, se deposita en las bolsas que se han establecido en distintos puntos de las rutas de paso por el interior del sistema. Sin embargo, la ausencia ocasional de algún equipo que las retire termina por producir serias acumulaciones, con el consiguiente impacto por olores, y aparición de roedores, conjuntamente con el impacto visual que supone su presencia en un espacio protegido que, en teoría, debería presentar alta calidad ambiental.

En este sentido, se podría comenzar a definir un “impacto social” muy significativo, debido a la “privatización” que de este espacio hacen determinados colectivos. El desarrollo de actividades que nada tienen que ver con los propósitos de protección del área natural complica seriamente la implantación de otras acordes con estos principios, como la educación ambiental.

Por último, desde el punto de vista del impacto visual, algunos usuarios del sistema tienen por costumbre construir figuras, haciendo uso de los cantos que conforman las paleobarras litorales. Éstas suelen ubicarse en las caras de las dunas más altas, por lo que su impacto es todavía mayor, si cabe, al ser visibles desde muchos puntos del sistema.

6.2. Evolución de la altura de la lámina de arena

Analizando los datos de los perfiles topográficos realizados para los años 1962 y 1996, se puede determinar la variación experimentada por el volumen de arena susceptible de ser desplazado. Este indicador aporta una clara idea de los cambios ocurridos en el sistema dunar, pues permite evaluar cuál ha sido la pérdida sedimentaria en el período estudiado.

Así, en cuanto al sector norte de la franja del Inglés (figura VI.23), las variaciones en los perfiles son poco significativas, aunque se identifican tres zonas de cambios: la primera se localiza en el sector en contacto con la terraza del Inglés, hecho que se explica por la existencia, en los años 60, de algunas dunas que conseguían alcanzar el techo de la terraza, y que hoy ya no existen. Seguidamente, conforme descendemos hacia la costa, aparecen algunas acumulaciones sedimentarias que hemos identificado como dunas eco, que se mantienen paralelas al pie del talud en su tramo medio. Desde el punto de vista geomorfológico, estas observaciones están relacionadas con el mantenimiento de un volumen semejante de sedimentos en el sector, y con el papel de pantalla eólica de la terraza del Inglés, reforzado tras su desarrollo urbanístico.

La última zona se ubica en contacto directo con la costa, donde los cambios acaecidos muestran una gran importancia. En este sector se produce una notable pérdida sedimentaria, que tiene como consecuencia el rebaje, en más de un metro, de la altura de la lámina de arena, lo que ha llevado a la aparición de extensas superficies de deflación eólica.

Un hecho significativo lo encontramos en el área septentrional del sector, donde se produce una variación positiva en cuanto a la altura del sedimento, de tal forma que, si bien en 1962 la altura máxima se cifraba en 12,5 metros, en 1996 ésta asciende a 16,8 metros, lo que explica un aumento del volumen de los sedimentos en este ámbito. Sin duda, la construcción del centro comercial Anexo II se encuentra en la raíz del proceso, dado que impide el tránsito de los sedimentos hacia el sur. Sin embargo, y considerando las cifras medias para todo el sector, la pérdida de altura estimada es de 80 centímetros, lo que nos permite deducir un volumen de pérdida sedimentaria de 394.816 m³. De esta manera, se entiende que, si bien se ha reforzado el papel de la terraza como pantalla eólica, únicamente se ha producido un aumento del volumen de sedimentos en el área norte, y una importante pérdida en el resto del sector, lo que indica una carencia de aportes.

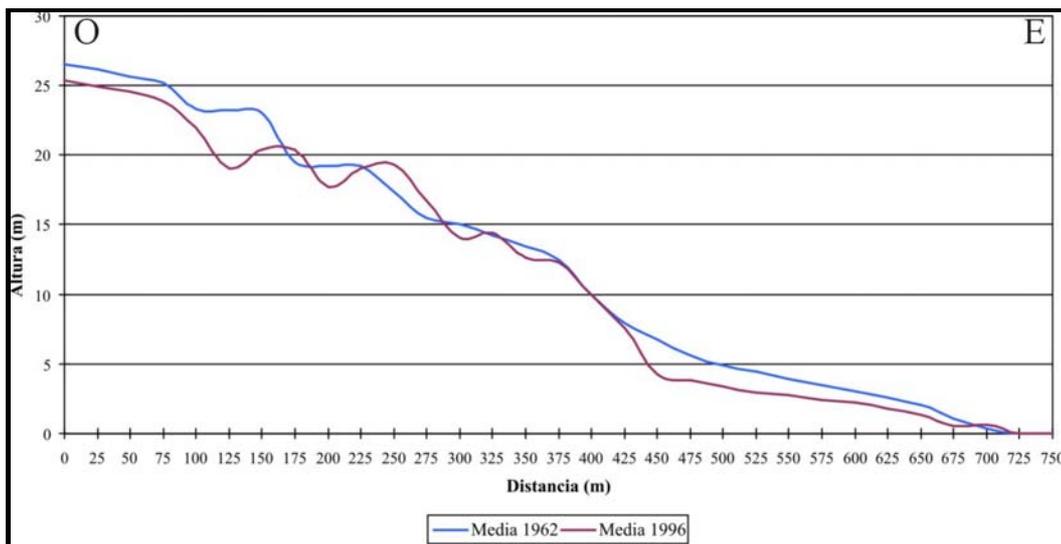


Figura VI.23. Evolución del perfil altitudinal en el sector norte de la franja del Inglés

El sector sur de la franja del Inglés (figura VI.24) presenta importantes variaciones en relación a la altura de la lámina de arena. Así, el tramo más cercano a la costa experimenta una disminución cercana a los 2 metros de altura, por término medio, mientras que en el interior de esta franja se presentan variaciones que superan los 4 metros. En definitiva, nos encontramos en un área de gran movilidad del sedimento, pero

donde éste muestra una disminución importante: 1,53 metros de altura, lo que indica una pérdida de volumen de 1.225.344,9 m³. De especial interés resulta también la variación de las cotas máximas registradas, siendo de 18 metros para 1962 y de 14,2 para 1996.

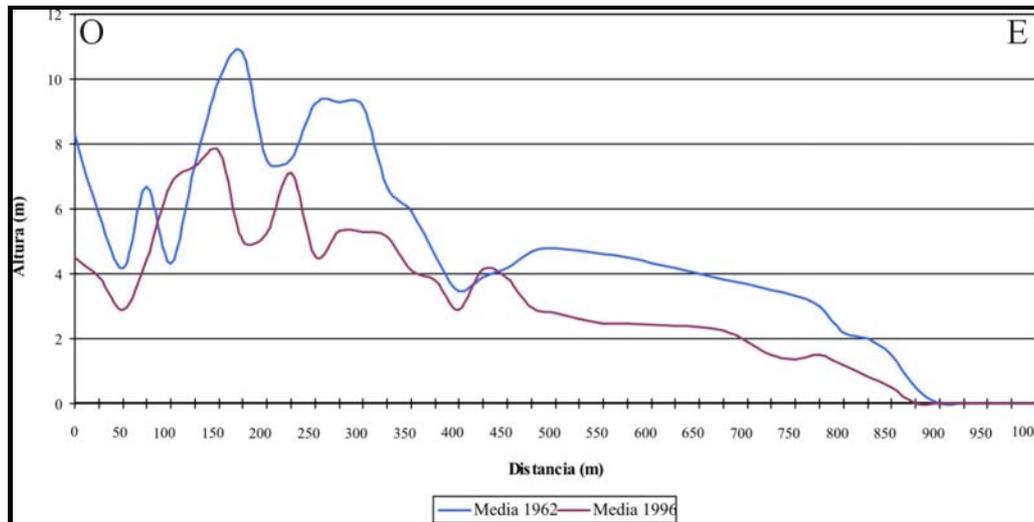


Figura VI.24. Evolución del perfil altitudinal en el sector sur de la franja del Inglés

El sector inmediatamente contiguo, hacia el este, se corresponde con el área sur del sistema interior (figura VI.25). En él se localizaban, en 1962, las mayores formas dunares, que alcanzaban alturas superiores a los 21 metros. Sin embargo, en 1996, la altura máxima observada es inferior a los 12 metros. En cuanto a la altura media de los perfiles obtenidos, también experimentan una importante disminución entre las dos fechas estudiadas, que ciframos en 1,94 metros. Este valor permite estimar una pérdida de 1.182.084,7 m³ de sedimentos.

Siguiendo el recorrido por las áreas que presentan mayor movilidad sedimentaria, observamos que el entorno de la playa de Maspalomas (figura VI.26) también experimenta una importante variación: pierde sedimentos, especialmente en su parte oriental. La razón de este cambio se encuentra, previsiblemente, en el mayor recorrido que tenían las dunas móviles en 1962, y que se reduce notablemente a partir de la edificación de la terraza del Inglés, cuando se constriñe su alimentación. Así, a principios

de los años 60 los sedimentos que caracterizan al sector meridional del sistema interior, alcanzaban la línea de costa más hacia el Oeste de lo que lo hacen hoy día. Considerando los datos medios, obtenemos una disminución de 0,99 metros en la lámina de arena, lo que nos da una cifra de 155.078,5 m³ de pérdida de sedimentos. En cuanto a las alturas máximas observadas, éstas varían desde 9,95 metros, para 1962, hasta 8,3 metros para 1996.

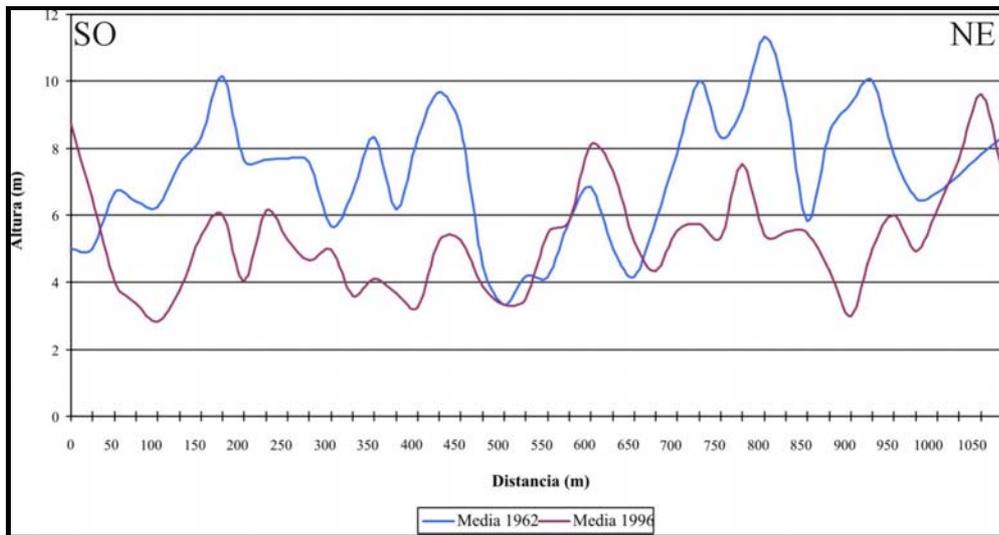


Figura VI.25. Evolución del perfil altitudinal en el sector sur del sistema interior

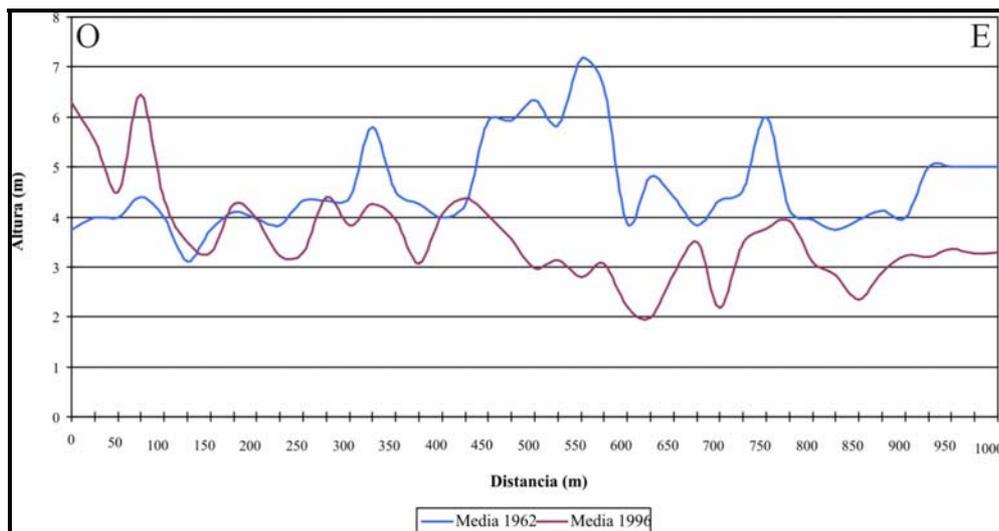


Figura VI.26. Evolución del perfil altitudinal en el sector occidental de la playa de Maspalomas

En relación a las dos áreas interiores, el sector norte (figura VI.27) es el que menor cantidad de sedimentos parece haber perdido, toda vez que ha quedado a sotavento de una terraza, que refuerza su papel de pantalla eólica en el momento de su edificación. De este modo, queda explicado el proceso de paralización de las arenas, al igual que la inexistencia de procesos de deflación, dado que la ausencia de vientos protege al sedimento. En este proceso también tiene interés la rápida colonización desarrollada por la vegetación herbácea, que contribuye a estabilizar el sedimento. En cuanto a los datos medios, nos encontramos con una diferencia escasa de 26 centímetros (11,13 metros para 1962 y 10,87 metros para 1996), lo que nos da un volumen de pérdida sedimentaria de 171.137,2 m³.

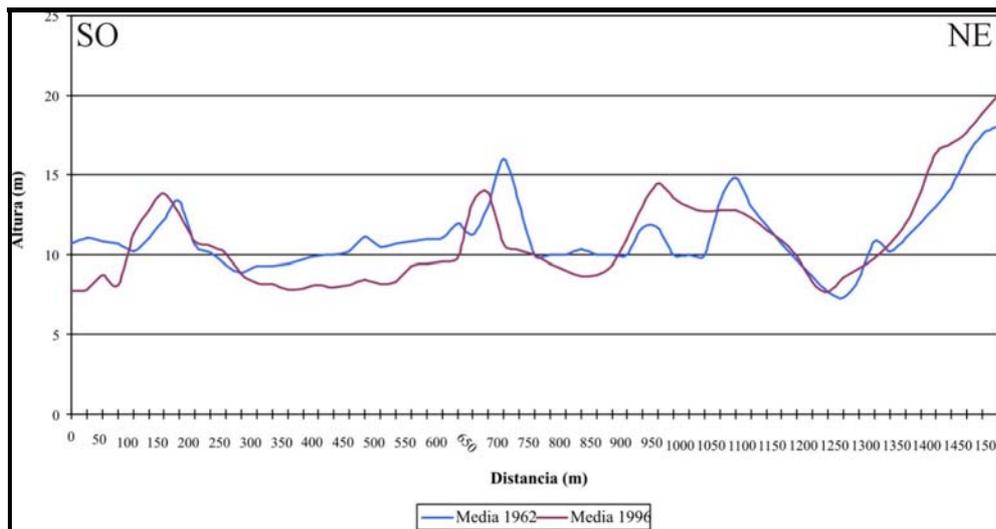


Figura VI.27. Evolución del perfil altitudinal en el sector norte del sistema interior

Por el contrario, el sector de las hoyas sí experimenta un cambio significativo (figura VI.28). Éste es especialmente notable en su tramo medio, donde las superficies de deflación han dejado al descubierto los materiales que conformaban el basamento del sistema. En conjunto, la variación de altura de la lámina de arena es de 1,01 metros (6,46 metros para 1962 y 5,45 metros para 1996), lo que nos da una cifra de 475.406 m³ de pérdida de sedimentos.

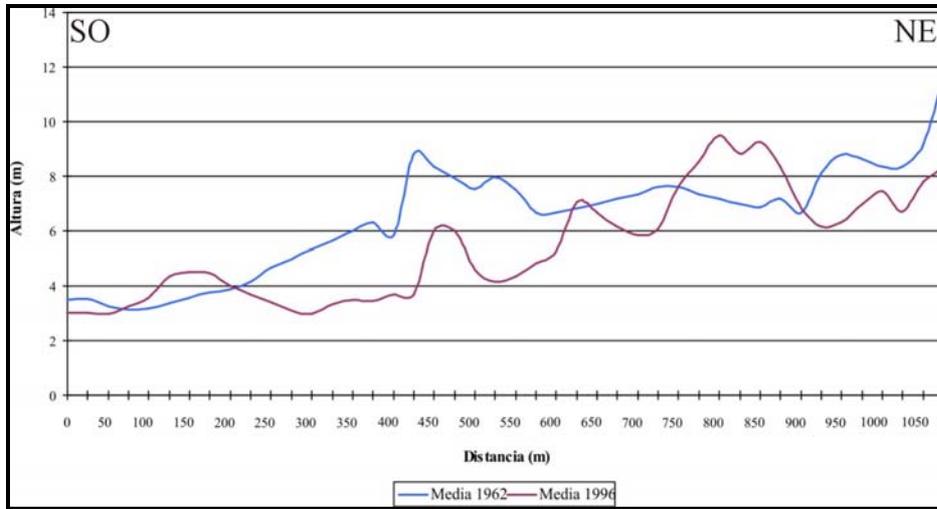


Figura VI.28. Evolución del perfil altitudinal en el sector de las hoyas

En conjunto, considerando los valores medios, llegamos a la conclusión de que el sistema dunar de Maspalomas ha experimentado una importante pérdida sedimentaria en un período de 33 años, pérdida que ciframos en 1,09 metros de altura media (figura VI.29). Esta cifra representa una cuantiosa pérdida de volumen de arena, e indica un déficit de sedimentos generalizado. Es decir, una ruptura del equilibrio sedimentario que sólo se explica por un proceso de bloqueo en la entrada de nuevos aportes de materiales al sistema.

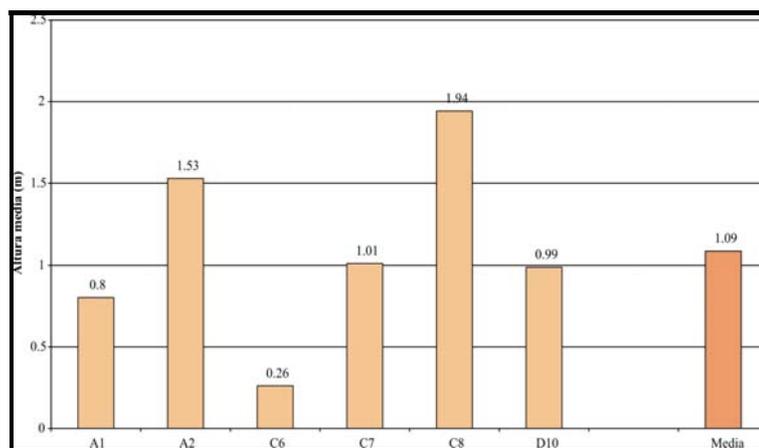


Figura VI.29. Diferencia media por unidades de la disminución de la altura de la lámina de arena entre 1962 y 1996

6.3. Evolución de la vegetación

La transformación experimentada en el entorno del espacio dunar tuvo serias consecuencias sobre las comunidades vegetales. Como se indicó en el capítulo anterior, algunas de ellas han sido extinguidas, como es el caso del tabaibal de *Euphorbia balsamífera* y *Euphorbia regis-jubae*, que se localizaba en el vértice sur de la terraza del Inglés. Lógicamente, habría que pensar que la totalidad del techo de esta terraza debía estar ocupado por este matorral, por lo que fueron los cultivos los que sustituyeron, en primer término, a esta cobertura, a pesar de que el desarrollo de la urbanización turística terminase por extinguirla.

También esta comunidad desaparece del entorno del tramo final del barranco de Maspalomas, conjuntamente con el carrizal de *Phragmites australis* y *Arundo donax*, efectos que, en principio, son achacables en exclusiva, al desarrollo turístico del entorno del Oasis. En este enclave, el efecto más contundente viene dado por la ocupación urbanística de una gran parte del espacio, caracterizado hasta entonces por la presencia de un palmeral y una comunidad helofítica, con dos especies del género *Juncus*.

La propia Charca experimentó un grado de alteración muy elevado, que estuvo motivado por dos cuestiones básicas: en primer lugar, por la canalización del canal del tramo final del barranco; por otro, por haberse convertido en espacio para la realización de las más variadas actividades. En relación al canal, la solera de hormigón que lo recubría, tenía como objetivo conseguir una mayor velocidad para las aguas de escorrentía, sin que pudiesen crearse obstáculos. El efecto sobre la Charca fue desastroso, por cuanto las comunidades vegetales y animales que conformaban este hábitat sucumbieron, en gran medida debido al exceso de aportes sedimentarios. Estos aportes, en el pasado, eran retenidos por la vegetación de rambla, así como por las comunidades helofíticas de los laterales del canal.

En cuanto a las actividades que se desarrollaban en su entorno, éstas eran desde la pesca deportiva hasta el desagüe de aguas residuales, pasando por todo tipo de actividades recreativas. Como es de suponer, la degradación del hábitat fue inminente y, así mismo, lo fueron las necesarias intervenciones. Éstas, lejos de plantearse como medidas que permitiesen la regeneración del ecosistema lacustre, fueron entabladas en forma de una “lucha contra los elementos” (mosquitos y malos olores, principalmente), que terminaron por producir una degradación ambiental. Finalmente, con la entrada en vigor del Plan Director, comienza un período próspero para este ecosistema, en el que se interviene de forma poco significativa, dejando hacer el resto a la Naturaleza.

En relación al matorral de *Plocama pendula*, que se localizaba al norte del campo de dunas, fue la ocupación urbanística y, principalmente, el asentamiento del campo de golf, los que determinaron su extinción. No obstante, hay que tener presente que el desvío del canal oriental del barranco ya debía haber afectado decididamente a esta comunidad. De ella, tan sólo quedan algunos retazos en el sistema interior, asociados a los materiales aluviales del trazado de ese canal por el campo de dunas.

Por lo que respecta al campo de dunas actual, las transformaciones humanas realizadas, han inducido, directa o indirectamente, los siguientes cambios (tabla VI.3):

Los matorrales halonitrófilos de balancón se reducen en el entorno de la trasplaya de Maspalomas, como consecuencia de los efectos combinados del avance de las dunas en este sector, y del tránsito de visitantes (utilización de individuos adultos como urinarios públicos y pisoteo de brinzales). En contrapartida, en el sector norte de la playa del Inglés se mantiene el número de ejemplares, aunque la colonización se ve comprometida por el pisoteo constante de los renuevos. Por el contrario, se incrementa notablemente el tamaño de los individuos adultos.

Los céspedes de *Cyperus laevigatus ssp. laevigatus* colonizan nuevas áreas, como consecuencia de la ampliación que experimentan los espacios interdunares, al reducirse la entrada de sedimentos eólicos al sistema. Por esta misma razón, los matorrales de *Suaeda vermiculata* también se encuentran en progresión aunque, en este caso, es el sustrato arcilloso infrayacente el que ha quedado al descubierto tras la reducción de aportes de arena.

Comunidad descrita	Esteve (1967)	Sunding (1972)	Actualidad
Matorral halonitrófilo de balancón	Poblaciones de <i>Traganum moquinii</i> . Extendidas	<i>Ass. Traganetum moquinii</i> . Extendida en el litoral de Maspalomas y bahía de playa del Inglés	Reducida en Maspalomas. Presente en playa del Inglés.
Céspedes de <i>Cyperus laevigatus</i>	Céspedes de <i>Cyperus laevigatus ssp. Dystachios</i> . Presente	<i>Ass. Cyperetum laevigati</i> . Coberturas entre 5 y 30% según inventarios	En progresión
Matorral de <i>Suaeda vermiculata</i>	No la describe	<i>Ass. Chenoleo-Suaedetum vermiculatae</i> . Escasa presencia en las Dunas. Tan solo un inventario	En progresión, formando comunidades cada vez más extensas
Matorrales salinos / juncales	<i>Ass. Schizogynojuncetum acuti</i> . Extendida en el entorno de la Charca	No la describe	Extinta en el oasis. En progresión en el sector de las hoyas
Matorrales de <i>Launaea arborescens</i>	No la describe	No la describe	Desarrollo en hoyetas arcillosas. Progresión en dunas estabilizadas.
Bosquetes de <i>Tamarix canariensis</i>	Bosquetes de <i>Tamarix gallica v. Canariensis, Launaea arborescens y Neurada procumbens</i> . Extensión reducida	No la describe	En progresión. Recolonizan e invaden tanto las dunas fijas, como las áreas centrales que pierden arenas
“Praderas” terofíticas sobre dunas fijas	No la describe	<i>Ass. Euphorbio-Cyperetum kalli</i> . Cobertura de los inventarios inferiores al 5%	Muy extendida. Coberturas superiores al 40%
Comunidades ruderal-nitrófilas	No la describe	No la describe	En progresión en las áreas alteradas (límites del sistema)

Tabla VI.3. Principales cambios experimentados por la vegetación entre 1962 y la actualidad

Los matorrales de *Juncus acutus* y *Schizogyne glaberrima* han desaparecido en el entorno de la Charca de Maspalomas. No obstante, se han incrementado notablemente en algunas

hoyas del interior de las dunas, tanto en superficie ocupada, como en diversidad florística, pues éstas también han ampliado su extensión por el déficit de sedimentos.

Los aulagares (matorrales de *Launaea arborescens*) también se han extendido significativamente. En este caso, no sólo incide la ampliación de los substratos arcillosos por las razones citadas, sino también la estabilización general que experimentan las antiguas dunas móviles en el interior del sistema.

Los bosquetes de tarajales constituyen una de las comunidades que han progresado de forma más significativa. No sólo se han densificado los existentes en 1960, sino que esta especie muestra una activa capacidad recolonizadora de nuevos espacios, incluso en condiciones ecológicas aparentemente adversas. Así, por ejemplo, la solera de hormigón con la que se tapizó parte del cauce del barranco de Maspalomas, en las proximidades de la Charca, ha sido ocupada por esta especie en tan sólo diez años. No obstante, es en el interior de las dunas donde la ampliación de esta comunidad adquiere un carácter más significativo. Ello se debe, fundamentalmente, a la estabilización general de los sedimentos eólicos en esta zona, consecuencia de la edificación de la terraza del Inglés. Esta misma razón explica la extensión actual de la “praderas” terofíticas, que llegan a alcanzar densas coberturas en años lluviosos.

Finalmente, a una escala detallada, hay que destacar dos procesos combinados: por una parte, la desaparición de especies como la siempreviva rosada (*Limonium tuberculatum*), que fue citada por última vez en los inventarios florísticos realizados tanto por Esteve (1968) como por Sunding (1972), así como el salado (*Arthrocnemum glaucum*), citado por Kunkel (1975); por otra, la aparición de especies invasoras alóctonas, como la pata de camello (*Neurada procumbens*). Este pequeño caméfito, inicialmente introducido con los dromedarios traídos del norte de África para las labores agrícolas en el sur de la isla, se ha ido extendiendo a lo largo de todo el campo dunar, especialmente sobre los substratos arenosos del sistema de dunas fijas, dispersado por el viento y por el intenso tránsito humano. Otras especies invasoras se distribuyen de modo más localizado, como

Nicotiana glauca, que coloniza áreas deprimidas con sustratos compactados y aportes de aguas freáticas. También en los bordes del campo dunar, en los lugares con mayor nitrofilia, aparecen rodales de ricino (*Ricinus communis*), o incluso ejemplares de la invasora pasto elefante (*Pennisetum setaceum*).

6.4. Evolución de la geomorfología eólica

La comparación de los documentos relativos a la geomorfología eólica permite establecer la evolución experimentada por el sistema, hecho que abordamos en este título. Se adopta como punto de partida el estudio de la variación experimentada por algunos indicadores significativos, claves para conocer el desarrollo global del sistema, como son los espacios interdunares, que nos informan sobre la existencia de un mayor o menor balance de arena seca, así como la aparición de áreas de deflación. Del mismo modo, y para caracterizar esta evolución geomorfológica, se considera también la evolución de la distancia entre la playa alta y el primer cordón dunar, en la franja del Inglés.

6.4.1. Evolución de los espacios interdunares

La aparición, como consecuencia de la deflación, de espacios ocupados por arenas humedecidas, y su balance superficial frente al ocupado por las arenas secas, es indicativo de la variación que experimenta el volumen de sedimento dispuesto a ser movilizad. En nuestro caso, hemos considerado estos espacios conforme a su aparición en las unidades donde el sedimento presenta mayor movilidad, es decir, las que se localizan en los ambientes exteriores del sistema, donde resulta fácil su observación, por el contraste entre las arenas humedecidas y las secas. No ocurre así en los sectores interiores, donde los materiales húmedos presentan otras respuestas de reflectividad en el espectro visible, por lo que son difíciles de detectar.

La evolución de estos espacios de arenas humedecidas en el sistema dunar muestra unas pautas de comportamiento irregular en algunas unidades, como la playa de Maspalomas o el sector sur del sistema interior, consecuencia de la variación anual del volumen de arena

que se desplaza. Sin embargo, atendiendo a la dinámica general, salta a la vista la existencia de un aumento progresivo de la superficie de estos espacios en los últimos cuarenta años. Así, podemos comprobar que partimos de un momento, a finales de los años 50 y principios de los 60, en el que los únicos espacios de arenas humedecidas corresponden a las áreas interdunares que se localizan en la franja del Inglés, en la playa de Maspalomas y en el sistema interior sur, así como a la llanura de deflación que se ubicaba entre éste último sector y el de las Hoyas. En conjunto, la superficie alcanzaba 22,2 has, es decir, el 5,18% del espacio dunar de entonces, y el 10,76 del espacio ocupado por las unidades de arenas móviles susceptibles de presentar arenas húmedas por capilaridad, es decir los espacios del ámbito costero.

El panorama cambia en 1977, cuando encontramos un espacio en el que la superficie ocupada por las arenas humedecidas se ha reducido a 11,8 has, lo que representa el 3,3% del espacio total (se ha considerado en este cálculo la disminución que experimenta el sistema dunar, en un 16%, como consecuencia de la ocupación urbanística de la terraza del Inglés), lo que representa, a su vez, el 5,74% del espacio potencial de arenas humedecidas. A finales de los años 80, esta cifra vuelve a ascender a 13,9 has (3,87% del espacio total y 6,75% del espacio potencial de arenas humedecidas) y, a mediados de los 90, se alcanzan 16 has (4,5% y 7,83%, respectivamente de los valores citados). Finalmente, en el año 2000, ciframos la superficie ocupada por las arenas humedecidas en 22,3 has, es decir, el 6,21% del espacio total y el 10,81% del potencialmente ocupado por esta cobertura.

Atendiendo a estos datos, representados en la figura VI.30, se puede afirmar que, en esta variación superficial existen dos momentos: el primero está representado por la ruptura que supone, para la dinámica sedimentaria eólica, la edificación de la terraza del Inglés, hecho que produce un desplazamiento de los sedimentos hacia el sur, donde se localizaban buena parte de los espacios interdunares, y en consecuencia, se reduce el número de éstos entre las áreas ocupadas por las arenas móviles. La tendencia se invierte

en los años siguientes, al producirse un incremento superficial progresivo, que continúa hasta la actualidad.

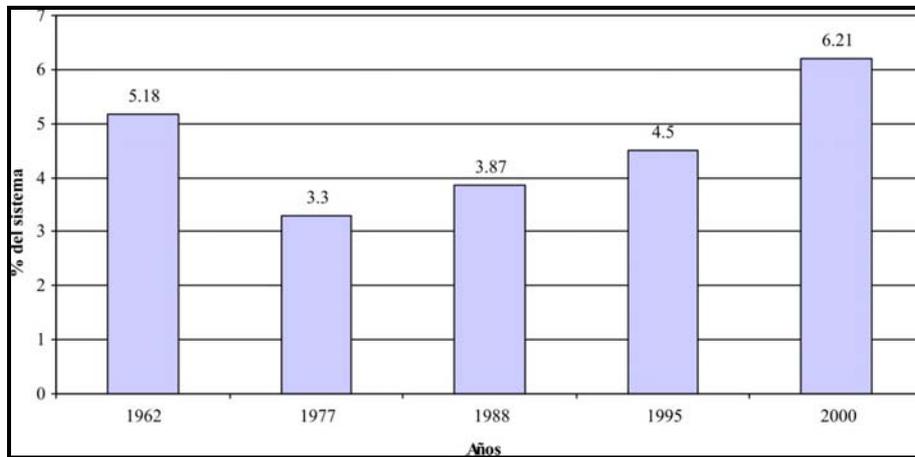


Figura VI.30. Evolución del porcentaje del sistema dunar ocupado por arenas humedecidas

El punto de inflexión se produce a partir de finales de los años 70, cuando el sistema refleja de manera patente las consecuencias del impacto producido por la edificación de la terraza del Inglés. A partir de este momento, el aumento de las superficies ocupadas por arenas humedecidas no deja de crecer y, atendiendo a los datos obtenidos, parece que este crecimiento se ajusta a una función exponencial. En definitiva, la cantidad de espacios donde afloran arenas humedecidas es mucho mayor actualmente que a principios de los años 60 cuando, sin embargo, el sistema dunar presentaba una superficie más extensa: superior en un 16% al que actualmente ocupa.

Para comprender este incremento tan espectacular debemos atender a los datos representados en la figura VI.31, y comprobar cómo han sido principalmente las áreas de deflación los indicadores claves de este proceso. Así, los espacios interdunares experimentan un importante decremento entre los años 60 y los 70 y, con posterioridad, mantienen una variabilidad irregular, en la que no se aprecian pautas significativas, que sí se observan en las áreas de deflación, en forma de un incremento superficial progresivo. Considerándolas de forma conjunta, el sistema dunar contaba con una única superficie de

deflación a principios de los años 60, localizada en el contacto entre los sedimentos móviles libres del sur del sistema interior y el sector de las hoyas. Esta conocida “llanura salitrosa” tenía una superficie de 1,59 has, que disminuye considerablemente en 1977, cuando ocupa únicamente 0,78 has. A partir de ese momento, esta llanura no ha hecho más que crecer hasta llegar a la época actual, en que comienza a contactar con una pequeña área de deflación vecina, nacida a finales de los años 90.

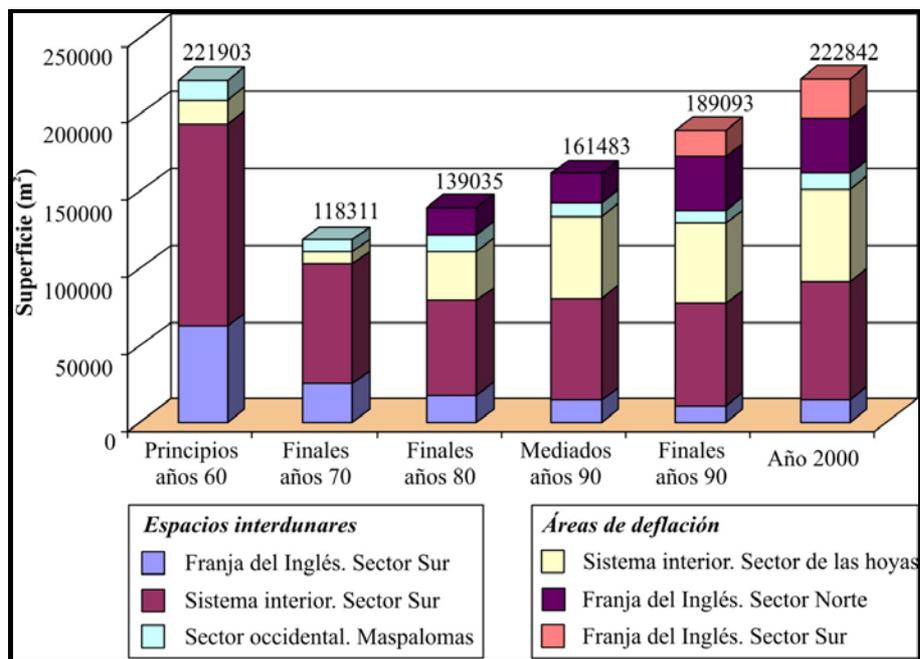


Figura VI.31. Evolución de las áreas donde afloran arenas humedecidas

Este mismo hecho es observable en las áreas de deflación localizadas en la franja del Inglés que, aunque tienen su origen en los pasillos de sombra eólica nacidos como consecuencia de la ubicación de equipamientos turísticos en la playa alta, se van uniendo paulatinamente y formando amplias llanuras, presentando en la actualidad una extensa superficie continua. El sumatorio total de todas estas áreas es de 12,16 has, lo que representa un incremento superficial del 764% con respecto a la superficie que ocuparan a principios de los años 60.

El único hecho que podría explicar este proceso generalizado de deflación es la carencia de nuevos aportes al sistema, por lo que, una vez más, encontramos un nuevo indicio que nos lleva a concluir la existencia de un proceso de ruptura del equilibrio sedimentario y, por ello, de un bloqueo en el sistema de entrada de las arenas.

6.4.2. Evolución de la distancia entre la playa alta y el primer cordón dunar de la playa del Inglés

La evolución que experimenta esta distancia es clave para caracterizar la pérdida sedimentaria del sistema dunar, pues constituye un excelente indicador del equilibrio sedimentario del sistema. Para entender este papel hay que recordar cómo se inicia la dinámica sedimentaria eólica en este espacio. Así, la playa del Inglés supone el área de entrada de los sedimentos que, tras secarse en el estrán, se desplazan movidos por los vientos efectivos hacia el interior del sistema. Muchos de estos sedimentos son interceptados por los ejemplares de *Traganum moquinii* que se sitúan en la primera línea de la playa alta, conformando acumulaciones a sotavento de estos obstáculos, que adquieren el papel de dunas embionarias. La ubicación de los balcones en varias líneas paralelas, permite, además, configurar una red muy efectiva, de la que escapan muy pocos granos de arena. Con ello se forma la primera línea de dunas (*foredune*). En su avance hacia el interior del sistema, estas acumulaciones dan lugar a dunas barjanas que, en su unión, terminan conformando cordones barjanoides transversales. Estos cordones dunares serán generados a una distancia más próxima entre sí conforme sea mayor el volumen de sedimentos, o según sean menos intensos los vientos efectivos, y, de forma inversa, a mayor distancia si se reducen los aportes de arena o se produce mayor intensidad en los vientos. Considerando que la variación que puede haber experimentado la intensidad del viento es nula en los últimos cuarenta años; la movilidad que experimente la distancia entre las primeras dunas embrionarias y el primer cordón dunar estará indicando un mayor o menor volumen de sedimentos entrando en el sistema y, por tanto, la existencia de un equilibrio sedimentario estable o, por el contrario, una ruptura de éste.

Durante el período analizado, especialmente en los años 60, la distancia que existe entre las dunas embrionarias localizadas al norte de la playa alta del Inglés y el primer cordón dunar es escasa; de tal forma que, tras los ejemplares de balancón, aparece inmediatamente la primera gran acumulación sedimentaria importante. Este hecho es debido a la presencia de la terraza del Inglés, que intercepta los sedimentos, por lo que las acumulaciones ascienden parcialmente por su talud oriental, razón que no permite identificar espacios interdunares suficientemente fijos en el tiempo como para garantizar su seguimiento. Sin embargo, al sur, libres de obstáculos topográficos, las dunas se adentran en el sistema, adquiriendo su configuración definitiva de cordones transversales. Por ello su seguimiento resulta muy preciso en este sector sur, dado que a cada cordón dunar le sucede, a sotavento, un espacio interdunar.

Por esa razón, ha sido en este sector donde se ha realizado el seguimiento para calcular esta distancia, estableciendo como puntos de referencia los ejemplares de *Traganum moquinii* situados en la primera línea de la playa alta, y el primer espacio interdunar indicado. Con el fin de evitar errores, estas medidas se han obtenido para varios puntos, considerándose como distancia de referencia, para cada fecha, la media de los valores obtenidos. Pues bien, los resultados permiten afirmar que, durante el período estudiado, se produce un aumento progresivo de esta distancia. Además, de la lectura de la figura VI.32, y tras el ajuste realizado a los datos, se obtiene que este aumento es exponencial, por lo que cada año el aumento de la distancia es mayor.

Con una finalidad meramente indicativa, se ha procedido a la realización del cálculo medio anual de este aumento, considerando la diferencia de la distancia obtenida entre las fechas en las que el dato ha sido calculado (figura VI.33). A pesar de que este resultado no tiene significado cuantitativo, se ha considerado oportuno reflejarlo, por cuanto resulta especialmente interesante en relación al último período analizado. Así se muestra que, entre principios de los 60 y finales de los 70, la distancia aumentaba, por término medio, 2,3 metros anuales; entre esa última fecha y finales de los 80, lo hace a razón de 3,5

metros anuales; 6,75 metros entre finales de los 80 y mediados de los 90; 8,6 metros entre mediados de los 90 y el año 1998 y, por último, 12,5 metros entre los dos últimos años estudiados.

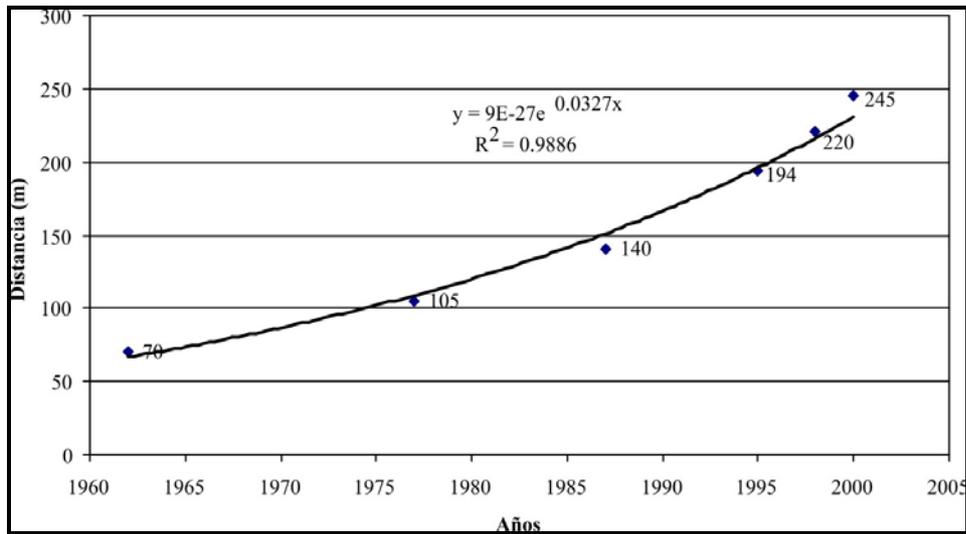


Figura VI.32. Evolución de la distancia entre la playa alta y la primera línea de dunas

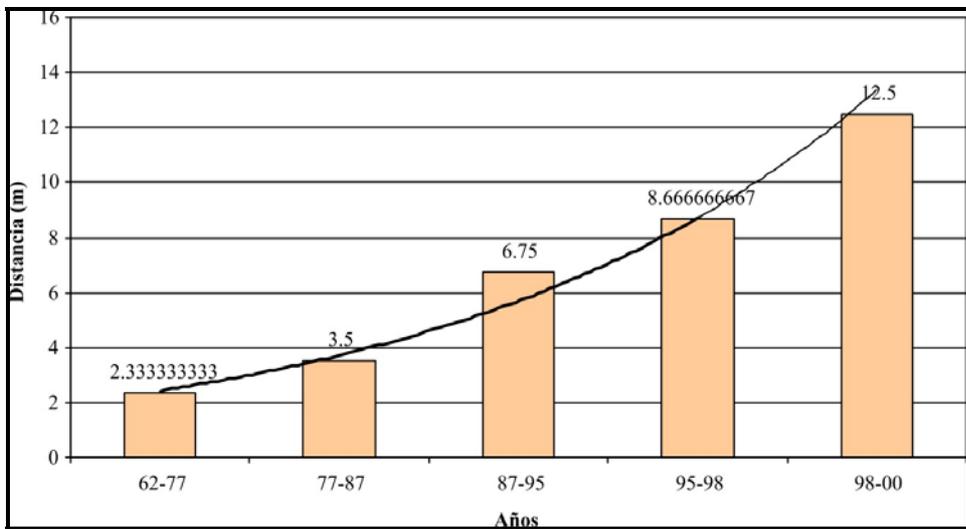


Figura VI.33. Evolución de la distancia entre la playa alta y la primera línea de dunas. Diferencia interanual

Como indicábamos, esta última cifra resulta reveladora de una tendencia regresiva muy importante, ya que coincide casi plenamente con la medida del avance observado, para

ese mismo cordón dunar y durante ese mismo año, en el seguimiento realizado de la velocidad de desplazamiento de las dunas, del que obteníamos una cifra de 12,33 metros. A la vista de estos resultados cabe indicar que, en la actualidad, el sedimento no se repone en volumen suficiente como para garantizar el equilibrio sedimentario en este sector: sólo entran las arenas suficientes para formar pequeñas dunas barjanas y láminas de arena.

Estas formas están indicando un escaso volumen de sedimento móvil, y hoy ocupan el espacio que queda entre esa primera línea de balcones y el primer cordón dunar, conjuntamente con amplias superficies caracterizadas por la presencia de arenas humedecidas y acumulaciones de callaos, procedentes de las paleo-barras subyacentes, que hasta hace escasas fechas no afloraban en la extensión actual. En conclusión, nos encontramos ante un proceso de deflación caracterizado por la ruptura del equilibrio sedimentario, que afecta a todo el sistema dunar de Maspalomas y que, atendiendo a los últimos datos obtenidos, se ha producido de forma constante y progresiva en tan sólo 40 años.

6.4.3. Evolución de las geoformas

A la vista de los resultados obtenidos en los capítulos precedentes, considerando las geoformas que se derivan de la dinámica sedimentaria eólica, podemos identificar dos grandes etapas en la evolución del sistema, desde principios de los años 60 hasta la actualidad: la primera de ellas corresponde al final del período “reciente”, caracterizado por el dominio de los agentes naturales, si bien se identifican ya alteraciones humanas. De esta etapa sólo conocemos directamente (a partir de fuentes gráficas globales, es decir, fotografías aéreas) sus últimos años, próximos a los cambios sustanciales que supondrá la irrupción del desarrollo turístico en el área. La segunda etapa es la situación actual.

6.4.3.1. La etapa reciente

Esta etapa se desarrolla, previsiblemente, durante los últimos siglos, y concluye entre finales de los años 50 y principio de los 60 del pasado siglo, es decir, justamente

cuando comienza nuestro estudio. Conocemos algunos de sus rasgos por las fuentes bibliográficas, la interpretación de los fotogramas aéreos y el trabajo de campo. En relación al sistema dunar, se caracteriza por el dominio de los agentes naturales, si bien, en su entorno se desarrollan actividades humanas, principalmente vinculadas a las labores agrícolas. Éstas tienen consecuencias para el sistema de dunas, por cuanto suponen importantes transformaciones de determinados hábitats y procesos, que se exponen a continuación:

- La desembocadura del barranco de Maspalomas se caracterizaba por la existencia de dos canales, siendo el occidental el que pervive hasta nuestros días. El oriental atravesaba el sistema de norte a sur, y podemos reconocer su trazado por el interior del campo de dunas, tanto a través de documentos cartográficos antiguos, como mediante trabajo de campo (mediante la interpretación de las geoformas y las comunidades vegetales), tal y como ha sido explicado en el capítulo III. Su actividad no era constante, sino que debía depender de que se produjeran fuertes precipitaciones. La ampliación que experimentan, entre finales de los años 50 y principio de los 60, las tierras dedicadas a los cultivos al norte del actual campo de dunas hizo necesario su desvío hacia el canal occidental, proceso que se observa en las fotografías aéreas de esta época.

- El área de la desembocadura de este cauce debió funcionar como una laguna litoral, semejante a la actualmente existente: la Charca de Maspalomas. Al igual que en el caso anterior, su identificación se ha realizado mediante la interpretación de documentos cartográficos antiguos, así como mediante trabajo de campo. Ésta coincidiría con las áreas hoy conocidas como Hoya de las Aulagas y Hoya de las Fuentes. Lógicamente, su existencia estaba condicionada por el funcionamiento del canal oriental del barranco, por lo que debía ser ocasional. E igualmente, el desvío del canal hacia el oeste bloqueó la posibilidad de que volviera a aparecer.

- Por su parte, el volumen del material sedimentario en tránsito debía ser superior al que observamos a principio de los años 60, sobre todo en el interior del sistema. Las razones que nos permiten realizar tal aseveración son dos: en primer lugar, la terraza sedimentaria del Inglés es uno de los primeros espacios en ser ocupados por la agricultura, durante este período de expansión que hemos citado, y no existen (al menos no hemos localizado) fotografías aéreas en las que la terraza no presente este uso tradicional. Así, los documentos aéreos más antiguos que hemos utilizado son los relativos a 1948, y ya aparecen algunos cultivos al norte de la terraza del Inglés. Desgraciadamente, no contamos con información del interior del sistema dunar, al haberse volado únicamente el litoral. Por otro lado, algunas formas de acumulación que se localizan en el interior del sistema presentan una altura (y por tanto un volumen de arena) muy superior a las actuales. De este modo, tenemos dos grupos de grandes dunas, existentes ya a finales de los años 50 (momento en el que manifiestan una densa cobertura vegetal): el primero de ellos se localiza en el tramo medio del sistema (Altos de la Tabaibilla y Altos de la Hoya Quemada), mientras el otro se ubica en su sector occidental (Altos del Amo y Altos del Gato). De todo ello deducimos que la inexistencia de obstáculos humanos en el techo de la terraza sedimentaria, debía garantizar el paso de las arenas en mayor medida que a principios de los años 60 del siglo pasado. Al igual que en los casos anteriores, el desarrollo agrícola de la terraza bloqueó parcialmente el tránsito sedimentario, y produjo un desvío en el flujo eólico, imposibilitando el avance de dichas dunas. Con ello, favoreció el desarrollo de la vegetación, la cual, a su vez, incidiría en la estabilización del sedimento.

En resumen, entre finales de los años 50 y principios de los 60, se está produciendo un incremento notable de la superficie ocupada por los cultivos, proceso que tiene consecuencias para el sistema dunar, dada la transformación que experimentan algunos de sus ambientes más significativos. La ocupación de la llanura de inundación secular del barranco de Maspalomas, y el desvío de su canal oriental (con el fin de ganar superficie útil para la agricultura, y evitar posibles inundaciones), supone la desaparición de

procesos aluviales en el interior del campo de dunas y, con ello, desaparece toda posibilidad de que se siga produciendo una laguna litoral semejante a la actual.

Estas acciones coinciden, casi en el tiempo, con el desarrollo urbanístico asociado al turismo, produciéndose los dos hechos en menos de una década (entre mediados de los 50 a mediados de los 60). Por ello, podemos considerar este momento como el final de esta etapa y el inicio de la siguiente, caracterizada por un uso tan intenso del territorio, que desencadenará fuertes transformaciones en el sistema dunar.

6.4.3.2. La etapa actual

Esta segunda etapa, a la que denominamos “actual”, está caracterizada por una profunda transformación de las condiciones preexistentes, sobre todo en lo que respecta a la dinámica sedimentaria eólica y, en consecuencia, en el funcionamiento ecológico del área. La razón principal de este cambio, en los primeros años, ha sido la edificación de la terraza sedimentaria, proceso que desencadena una severa transformación en el sistema dunar, pues supone el refuerzo del papel de pantalla eólica y trampa de sedimentos que esta geoforma ya representaba.

Esta etapa se desarrolla en dos períodos bien definidos: el primero de ellos se caracteriza por un aumento significativo de sedimentos móviles en las áreas del sur del sistema, como consecuencia del bloqueo del tránsito de las arenas por el techo de la terraza. El segundo período se produce a partir de esta fecha, dado que los siguientes análisis realizados permiten constatar una pérdida progresiva de sedimentos en todo el campo dunar. Ésta se produce de forma gradual hasta la actualidad, por lo que entendemos que el citado período no ha concluido aún.

6.4.3.2.1. El primer período

Comenzando nuestro análisis sobre los cambios ocurridos entre las dos etapas señaladas, es necesario considerar que, en primer lugar, la edificación de la terraza del

Inglés supone una severa transformación de las condiciones naturales en las que se desarrollan las geoformas dunares. Ciertamente es que, de acuerdo con los documentos analizados, ya existía una cierta ocupación del espacio, con fines agrícolas, que había posibilitado la alteración de la dinámica sedimentaria, principalmente por la ocupación de zonas de paso del sedimento, como el techo de la propia terraza del Inglés. Sin embargo, la presencia de formas dunares que conviven con las estructuras agrarias, así como las dunas que se localizan en el sector norte del sistema interior, permiten considerar unas pautas geomorfológicas todavía dominadas en esta época por las condiciones naturales.

El desarrollo urbano del área, por tanto, genera un impacto de considerables dimensiones por dos razones básicas: la primera, porque se produce sobre un espacio que es clave en la movilidad del sedimento, por lo que podemos considerar que se realizó invadiendo el campo dunar; la segunda, porque consigue interferir, directa o indirectamente, en la dinámica de los sedimentos en todos los sectores del espacio, aunque muy especialmente en los localizados a sotavento, alterando las formas preexistentes al favorecer su estabilización o generando procesos de deflación.

En relación a la primera razón aludida, también debemos considerar el papel desempeñado por el campo de golf. Éste se extiende al norte del sistema dunar actual, sobre áreas que, a principios de los 60, presentaban cultivos, pero también formas dunares, localizadas desde el pie del talud occidental de la terraza (en esta zona aparecían algunas grandes dunas libres) hasta el barranco de Maspalomas, donde llegaban algunas acumulaciones a sotavento de los obstáculos vegetales. En definitiva, durante estos años se produce también una transformación de las superficies ocupadas por algunos sectores (tabla VI.4), que denota la progresiva artificialización de este ecosistema.

Sectores/Superficie	1962 (m ²)	%	1977 (m ²)	%
B3	257792	6,43	0	0
B4	72093	1,80	0	0
B5	0	0	85464	2,35
C6	942652	23,51	658220	18,14

Tabla VI.4. Transformación superficiales de algunos sectores

En cuanto a la segunda razón, el cambio más espectacular se produce en el interior del sistema, donde la vegetación consigue desarrollarse de forma importante, al tiempo que se produce la estabilización o deflación del sedimento. Esta vegetación se caracterizaba, hasta ese momento, por presentar escasos rodales, principalmente asociados a hoyetas con encharcamientos esporádicos, así como ejemplares aislados y especies herbáceas, estas últimas en los espacios interdunares. En su evolución identificamos tres formas de crecimiento estrechamente ligadas al desarrollo de las geoformas: por un lado, las especies que colonizan las hoyas (principalmente *Tamarix canariensis*) tienden a expandirse de forma radial. Por otro lado, los individuos aislados, que se encuentran en lucha con la dinámica de las arenas, debido al freno que éstas experimentan, o a la carencia de aportes, terminan venciendo, por lo que interceptan una buena parte del sedimento en forma de lomas vegetadas. Por último, las especies de los espacios interdunares (principalmente herbáceas), de vida nimia pero con extensos sistemas radiculares, pueden desarrollarse más fácilmente, ocupando la totalidad de estas áreas y extendiéndose sobre las formas de acumulación sedimentarias, por lo que terminan configurando dunas vegetadas.

Estos cambios están estrechamente ligados a las dos áreas interiores del sistema. En la septentrional, la carencia de aportes, y la reducción de flujo eólico (dado que se localiza inmediatamente a sotavento de la terraza ahora urbanizada), posibilita el estancamiento de la dinámica sedimentaria y, con ello, la estabilización del sedimento; en el sector de las hoyas, por su parte, el viento incide de una forma más significativa, al tiempo que queda garantizado un transporte sedimentario, aunque reducido. Esto implica que en este espacio se produzca un proceso de deflación generalizado, generado por la ruptura del equilibrio sedimentario. Uno de los hechos más significativos es que aflora el basamento

del sistema, oculto hasta entonces, compuesto por calcarenitas y materiales aluviales, ricos en arcillas. Estos ambientes son aprovechados por algunas especies (como *Suaeda vermiculata*) para desarrollarse de forma óptima. Del mismo modo, este proceso es el que produce la ampliación de la superficie de la llanura “salitrosa” de Maspalomas.

Los sectores situados al sur también se ven influenciados por este cambio, aunque el proceso es bien distinto: el sedimento que atravesaba la terraza se ve obligado, dado el proceso de urbanización, a variar su dirección y dirigirse hacia el sur. Así, en los años iniciales que corresponden al primer período señalado, se produce un aumento significativo de sedimentos en estos sectores, hecho que se deduce de la reducción que experimentan la superficie y número de los espacios interdunares. Igualmente significativa es la disminución superficial de la llanura salitrosa, al localizarse en el contacto entre dos de los sectores interiores. Precisamente, durante estos primeros años, se produce un re-equilibrio en la extensión de estas dos áreas vecinas, que hemos reflejado en la tabla VI.5.

Sectores/Superficie	1962 (m ²)	%	1977 (m ²)	%
C7	76746	1,91	470699	12,97
C8	853743	21,30	609322	16,79

Tabla VI.5. Evolución de las unidades vecinas C7 y C8

En la franja del Inglés, además, se produce la ocupación de la línea de playa por equipamientos para uso turístico, lo que genera una serie de pasillos de sombra eólica en su sector norte.

6.4.3.2.2. El segundo período

El segundo período representa, desde el punto de vista de la dinámica sedimentaria eólica, la “cuenta atrás” en el proceso de pérdida generalizada de sedimentos. La razón que nos lleva a definirlo así es que el sistema parece entrar en una carencia generalizada de aportes nuevos, identificándose una importante ruptura del equilibrio sedimentario. En consecuencia, se detecta una progresiva pérdida de arenas

secas y, por el contrario, un aumento de los espacios ocupados por arenas humedecidas por capilaridad.

Una vez más, se distinguen dos ámbitos diferentes, relacionados con la situación de las unidades objeto de estudio: el primero, en los espacios interiores y, el segundo, en los litorales, ubicados al sur. Con respecto al primero, se produce en los dos sectores septentrionales del sistema interior, así como en el área oriental del barranco de Maspalomas. Se caracteriza por una progresiva pérdida de formas libres. Ésta queda patente en el sector norte, donde se consolida la dinámica, observada en el primer período, de estabilización del sedimento y de progresivo aumento de la cobertura vegetal. La evolución de la vegetación adquiere características especiales en el caso de las especies herbáceas, de porte escaso y gran desarrollo radicular, que consiguen extenderse por la práctica totalidad del sistema, configurando, con ello, un espacio de arenas paralizadas, en el que dominan las dunas vegetadas. Así, hoy son escasas y reducidas las áreas donde las arenas denotan una cierta movilidad, especialmente en el sector oriental.

El sector intermedio de las hoyas presenta, igualmente, una pérdida importante de formas dunares móviles. En este caso, la explicación es más compleja, pues se combinan varios aspectos: la carencia de sedimentos y presencia de vientos efectivos; la colonización vegetal favorecida por ello; la aparición del sustrato subyacente y, finalmente, la estabilización de las arenas, todo ello dentro de un proceso generalizado de deflación. Todo parece indicar que, en este proceso, juega un papel relevante la colmatación de los espacios urbanos en la terraza sedimentaria del Inglés, especialmente en los últimos años, con la aparición del Hotel Riu Palace, que ha terminado por reducir los aportes sedimentarios que alcanzaban el vértice sur de la terraza, desde donde se alimentaban anteriormente las hoyas. A este hecho debemos sumar la carencia generalizada de aportes que manifiesta todo el sistema, lo que explica el progresivo aumento de los procesos de deflación eólica en este sector.

Otra de las consecuencias directas de este proceso de deflación es el desarrollo que experimenta la vegetación. Así, la aparición de los materiales que conformaban el basamento ha favorecido la explosión de algunas especies que ya se encontraban en pleno desarrollo, como *Suaeda vermiculata*, que se extiende sobre los materiales calcareníticos, ricos en sales. Al tiempo, *Zygophyllum fontanesii* consigue extenderse sobre la llanura salitrosa, geofoma que también experimenta un progresivo aumento superficial como consecuencia de la carencia sedimentaria.

El sector oriental del barranco de Maspalomas, que recibía arenas de los dos sectores comentados, se queda también sin alimentación suficiente de sedimentos. Sólo perviven formas dunares móviles en su área norte que, a falta de nuevos aportes, deben ser consideradas como terminales. Al sur de este sector el déficit de sedimentos es generalizado, por lo que, una vez más, se produce un proceso de deflación que lleva a la aparición del material subyacente que, en este caso, está compuesto por eolianitas, posiblemente relacionadas con la existencia de la antigua charca interior. Este proceso de pérdida de arenas secas conduce a que en los últimos años quede al descubierto una nueva llanura de deflación con arenas humedecidas por capilaridad, sobre la que ha comenzado un proceso de colonización vegetal.

La pérdida de sedimentos en todo el sistema se manifiesta también claramente en la franja del Inglés, con la aparición de llanuras de deflación, caracterizadas por presentar arenas humedecidas, así como de los materiales del basamento del sistema, en este caso, antiguos niveles marinos (paleo-barras). Así, los pasillos de sombra eólica que habían generado los equipamientos de playa han experimentado un notable crecimiento, a pesar de la disminución de tamaño de los kioscos y su cambio de fisionomía y de ubicación. El producto de estos antiguos pasillos son áreas de deflación cada vez mayores, sobre las que únicamente aparecen pequeñas dunas barjanas y láminas de arena. A su vez, el alejamiento del primer cordón dunar de la línea de playa es también progresivo, y evoluciona casi al tiempo que la velocidad de desplazamiento de las dunas en este punto,

lo que indica una pérdida de entrada de sedimentos crítica y, por tanto, una clara ruptura del equilibrio sedimentario.

6.5. Evolución del funcionamiento del sistema

Por lo que respecta a la incidencia que las alteraciones entrópicas han tenido en el funcionamiento general del sistema dunar, y en función de los resultados obtenidos, llegamos a la conclusión de que en Maspalomas podemos identificar dos etapas en su evolución durante los últimos 40 años: la reciente y la actual. De hecho, nuestro estudio se inicia en el momento en que se produce el cambio entre las dos etapas, es decir, a finales de los años 50.

Este cambio, desde una organización agraria de los modos de intervención territorial, a otra urbano-turística, coincide, por suerte, con las primeras fotografías aéreas con que contamos. En esos documentos se revela un espacio ocupado en su periferia por cultivos, que avanzan inexorablemente hacia el sur, ocupando áreas no invadidas por grandes dunas, aunque sí por formas más reducidas, tal y como ocurre en el techo de la terraza del Inglés.

Aún a pesar de los usos que se daban en el territorio, los cuáles incluían aprovechamientos en el campo dunar, el sistema se encontraba bajo el dominio de los procesos naturales. De esta forma, incluso las áreas de cultivo mencionadas eran abandonadas en momentos en los que las arenas conseguían invadir el espacio ganado por el hombre.

Los últimos años de la década de los 50, y los primeros de los 60, ya suponen un cambio significativo en el sistema, en cuanto que se produce la ocupación paulatina del norte del espacio dunar. Así se deduce de los fotogramas aéreos, que permiten identificar un proceso de ocupación por campos de cultivo dedicados al tomate para la exportación, hecho que ya es señalado por otros autores (Nadal y Guitián, 1983). Esto supone, en

algunos casos, la extracción de arenas para la adecuación de estos cultivos. Por otro lado, esta continua ocupación del territorio se producía mediante un proceso de captación y paralización de las arenas, tal y como se deduce del análisis de las fotografías aéreas. En este momento, además, se detecta el uso del espacio con fines ganaderos, principalmente como espacio de pastoreo, aunque también para la corta de especies para la alimentación del ganado estabulado.

A la vista de estos documentos, podemos identificar algunos rasgos que denotan la existencia de una dinámica sedimentaria muy activa en el pasado (en la etapa anterior). Así, aparecen las grandes acumulaciones dunares comentadas, ya paralizadas por la vegetación, que responden al nombre genérico de Altos (del Gato, del Amo, de la Tabaibilla, de la Hoya Quemada). Se evidencian también algunas grandes formas dunares libres, aunque su ubicación al pie de la terraza, en su vertiente de sotavento, hace pensar que se trate de acumulaciones interceptadas por la propia topografía, cuando se producen vientos del suroeste. No puede descartarse, no obstante, que esta retención no sea causada también por el desarrollo de la agricultura en el techo de la terraza, dado que, al sur, se identifican otras formas vecinas, paralizadas como consecuencia de este desarrollo.

Aún así, durante esos años se aprecia la existencia de suficientes formas libres sobre la terraza, así como en los sectores interiores del sistema dunar, como para afirmar que la dinámica sedimentaria está garantizada. Ésta únicamente parece estar frenada, en cierta medida, por la vegetación que, en su mayoría, se localiza formando rodales en áreas deprimidas, inundables en períodos de lluvias.

Sin embargo, el desarrollo del turismo durante los años 60 y 70, principalmente en la terraza sedimentaria del Inglés, supone una transformación que afecta a todo el espacio: en cuanto a la propia terraza, porque ya no dejará trasvasar parte de los sedimentos desde el sector norte de la playa del Inglés hacia los sectores interiores; en cuanto a estos sectores interiores, porque, la carencia de sedimentos, posibilita la estabilización de las

formas móviles y/o la generación de procesos de deflación. Con ello, se produce un cambio espectacular, en el que la vegetación cobra protagonismo, al conseguir desarrollarse de forma notable, cerrando, así, el círculo de estabilización de buena parte del sistema.

Con todo ello comienza una nueva etapa, que responde a una degradación progresiva de los mecanismos que permitían el funcionamiento natural del sistema. La razón que provoca el inicio de este proceso es la comentada en el párrafo precedente: la interacción que supone el desarrollo urbano, asociado al turismo, principalmente por la ocupación de la terraza del Inglés. La transformación que experimenta el sistema es perceptible en la gran mayoría de sus componentes ambientales, así como en todos los sectores territoriales. Esta degradación comienza a mostrarse de forma generalizada en los últimos años, cuando asistimos a un proceso deficitario de nuevos aportes de arenas, en lo que parece ser una ruptura del equilibrio sedimentario. Como consecuencia, se detecta una progresiva pérdida de sedimentos, y un aumento de los espacios ocupados por arenas humedecidas, resultantes de la generalización de los procesos de deflación eólica.

Desde el punto de vista espacial, los cambios que se aprecian muestran dos dinámicas diferentes: la primera, en los espacios interiores y, la segunda, en los litorales. Con respecto a la primera, se produce en los dos espacios situados al norte, en el sistema interior, así como en el área oriental del barranco de Maspalomas. Se caracteriza por una progresiva pérdida de formas libres, un importante desarrollo de la vegetación y la generación de procesos de deflación eólica.

Por su parte, el sistema interior septentrional, al estar ubicado a sotavento de la terraza del Inglés, se encuentra protegido de los vientos efectivos y, en consecuencia, no es tan significativa la pérdida de sedimentos por deflación, sino su estabilización por la vegetación. En contrapartida, el sector de las hoyas se encuentra parcialmente a sotavento de la terraza, por lo que en ella se producen importantes procesos de deflación, dado que

la pérdida de aportes va unida a la existencia de un flujo eólico constante. La consecuencia inmediata es un proceso de deflación generalizado, que se manifiesta en la aparición de los materiales que configuran el basamento del sistema; en los que algunas especies vegetales encuentran un ambiente óptimo para su desarrollo, contribuyendo, aún más a la estabilización de los sedimentos. Por último, el área oriental del barranco de Maspalomas, a pesar de la distancia a que se localiza de la terraza sedimentaria, depende exclusivamente de ésta, dado que recibía aportes del sector septentrional del sistema interior. De tal forma que la paralización del sedimento en éste último se ha manifestado en forma de carencia de nuevos aportes, lo que finalmente se traduce en un proceso de deflación generalizado.

En cuanto a las áreas litorales, los efectos de la transformación se dejan sentir especialmente en las que funcionan como área de entrada de las arenas en el sistema, es decir, los sectores que configuran la franja del Inglés. En ellos es donde más directamente se constata el déficit de aportes sedimentarios, especialmente en los últimos años: con la aparición de áreas de deflación eólica, y la desaparición de formas de acumulación, proceso que, por su localización, está poco relacionado con la urbanización de la terraza del Inglés. Muy al contrario, el refuerzo que supone su edificación, en cuanto a su papel como pantalla eólica, parece haberles favorecido en los primeros momentos, en los que los sedimentos se ven desplazados hacia el sur. Son éstos los espacios que más pérdida de sedimentos manifiestan, lo que parece estar más relacionado con un fallo en su sistema de alimentación. En cuanto al resto de los espacios litorales, el sector sur del sistema interior manifiesta una importante pérdida de volumen de arena, aunque las formas de acumulación se mantienen de modo semejante a las observadas a finales de los años 50 y principios de los 60. El entorno de la playa de Maspalomas, por su parte, se caracteriza por comportarse como un elemento residual, cuyo funcionamiento está a expensas, hoy en día, de los cambios que se puedan producir en el sector anteriormente comentado, dado que ha perdido la posibilidad de recibir aportes desde el sector de las hoyas.

Dado que esta carencia de sedimentos se produce en todo el ámbito del campo dunar, no se pueden achacar las causas a un re-equilibrio dentro del propio sistema, por lo que consideramos que las causas de esta ruptura del equilibrio sedimentario se deben localizar, también, en su periferia.

CAPÍTULO VII. DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Discusión: la investigación desarrollada

Considerando la información aportada por esta investigación, podemos concluir que su objetivo principal se ha cumplido de forma satisfactoria. Así, ha quedado demostrada la relación que existe entre el desarrollo turístico y la alteración del sistema dunar en los últimos 40 años, de tal forma que el primero condiciona a la segunda de forma directa y determinante.

Este objetivo general se dividía en tres de carácter parcial: el primero, que proponía *la caracterización del funcionamiento del sistema dunar en la actualidad*, ha sido, sin duda alguna, el que más tiempo y energías ha consumido. Esta aproximación se ha desarrollado en varios frentes de estudio, que abarcan desde la vegetación hasta la geomorfología eólica, pasando por los suelos, los materiales geológicos, el viento, la altura de la lámina de arena, la velocidad de desplazamiento de las dunas o los impactos ambientales inducidos por los usuarios del sistema. En todo ello se ha incorporado, de forma preferente, la dimensión espacial de la problemática abordada. En definitiva, se ha intentado el acercamiento desde una perspectiva geográfica a este complejo sistema. Pero quizá es, en este apartado, en el que debemos hacer un alto para discutir algunas de las opciones tomadas a la hora de realizar la investigación.

En este sentido, se ha optado por un enfoque geomorfológico centrado en el estudio de las formas y su evolución espacio-temporal, en lugar de afrontar el análisis de la dinámica sedimentaria eólica a partir de la toma de datos de viento y de trampas de sedimentos en cada parte del sistema. La razón que justifica esta elección es la siguiente: mientras que las geoformas son observables en los documentos fotográficos a lo largo de 40 años, no ocurre así con los procesos, que sólo habrían permitido profundizar en la caracterización de la situación actual. Además, está el hecho de que un análisis en esta línea había sido ya desarrollado, unos años antes, por otro investigador (Alcántara-Carrió, 1998).

Por esta razón se optó por otros métodos, fáciles de abordar a través de la observación de campo y la interpretación de documentos aéreos, pero también complementarios a la información hasta ahora disponible. La ventaja del análisis realizado se sitúa, entre otras, en la posibilidad de elaborar documentos comparables en diferentes intervalos temporales, cuestión básica en este estudio.

En este contexto de enfoque multidisciplinar, no obstante, se incorporó el estudio de la velocidad de desplazamiento de las dunas. Este análisis no tenía posibilidades de ser contrastado en épocas precedentes a la actual, pero resultaba de gran utilidad de cara a la actualización de las investigaciones desarrolladas previamente, que indicaban unas velocidades pero sin aportar los métodos utilizados para llegar a tal conclusión. A su vez, estas observaciones tenían la ventaja de poderse realizar con una gran economía de medios y tiempo. Si bien los métodos utilizados sólo permiten estimar cifras aproximadas, éstas poseen una gran significación, aunque siempre han sido consideradas con prudencia a lo largo de la investigación, dado su carácter meramente orientativo.

Este mismo carácter es el que tienen los datos relativos a la altura de la lámina de arena, obtenidos mediante la realización de perfiles topográficos. Debe aclararse que la primera intención fue la realización de modelos digitales de elevaciones (MDE), productos que no pudieron ser desarrollados con fiabilidad a causa de ciertas deficiencias de las fuentes utilizadas. Así, en las fotografías aéreas de la primera etapa (finales de los años 50 y principios de los 60) faltaba información de base, debido a que el área de estudio era considerada objetivo estratégico por parte del Ministerio de Defensa; y a pesar de que recientemente se han desclasificado algunos vuelos de este período, aún no es posible acceder a los negativos positivados. En cuanto a los documentos cartográficos, la carencia se producía en la información de detalle, dado que los datos altimétricos se nos mostraban insuficientes para abordar estudios relacionados con las geoformas dunares. En este sentido, hay que recordar que los modelos mencionados utilizan métodos de

interpolación, frecuentemente basados en una tendencia observada en los datos muestrales, lo cual choca abiertamente con los sistemas dunares, donde no se detectan tendencias ni patrones de comportamiento, y en los que la variabilidad altimétrica se produce de forma irregular y aleatoria en el espacio. Por todo ello, la aplicación de varios métodos de interpolación resultó deficiente, por carencia de datos. La única posibilidad de abordar este análisis con fiabilidad pasaba por la realización de un nuevo levantamiento fotogramétrico, basado en una rejilla con mayor densidad de puntos (v.g.: un dato cada medio metro), o, de mayor calidad, un barrido realizado por un sensor altimétrico (Brock *et al.*, 2002; Ojeda, 2000), método únicamente aplicable para la etapa actual, pero no para las precedentes. En cualquier caso, ambos procedimientos implican un alto costo y requieren financiación para ser desarrollados, cuestión de la que carecíamos durante la realización de esta investigación.

Esta misma carencia de recursos económicos fue también la causa del escaso análisis realizado a los datos procedentes de fuentes espectrales, como la imagen IKONOS de julio de 2000. Para su análisis más pormenorizado, especialmente en relación al estado de la vegetación, hubiese sido necesaria una imagen multiespectral, con el fin de comparar sus resultados con los captados por el sensor ATM, en octubre de 1993.

Por lo que respecta a los datos de viento, éstos no deben ser considerados definitivos. Como ha sido explicado a lo largo de este trabajo, no se dispone de una serie temporal de registros lo suficientemente larga, cuestión que deberá ser actualizada en años venideros, cuando la información sea más amplia.

En cualquier caso, considerando el conjunto de procedimientos y técnicas aplicados, el estudio realizado supone un avance en el conocimiento del modelo de funcionamiento actual del sistema dunar. En este sentido, la integración del conjunto de datos manejados –de muy diversa índole- ha permitido una caracterización bastante precisa. Sin duda, el avance más notable se debe a la comprensión sistémica del funcionamiento conjunto de

las geoformas, los suelos, los materiales geológicos y la vegetación. Cuestión que fue posible gracias a un intenso trabajo de observación de campo, siguiendo líneas clásicas, desde siempre asociadas a las Ciencias de la Tierra y, especialmente, a la Geografía Física.

En cuanto al segundo objetivo propuesto, *la caracterización del funcionamiento del sistema dunar en diferentes momentos relativos a épocas precedentes*, se ha utilizado básicamente la información aportada por las fotografías aéreas, aunque, para el estudio de algunas etapas se ha contado con descripciones botánicas y estudios previos sobre geología y geomorfología. Entendemos que, dada la inexistencia de otras fuentes, éste ha sido el procedimiento correcto para abordar tales análisis.

El tercer y último paso de esta investigación tenía como objetivo el análisis de *la evolución que ha experimentado el sistema dunar desde principios de los años 60 hasta el año 2000, y el papel que ha jugado el desarrollo de la actividad turística en esta dinámica, condicionando su funcionamiento*. Para su estudio se consideraron las siguientes claves: la evolución de las geoformas a partir de las mediciones llevadas a cabo sobre los documentos georreferenciados, la variación en los perfiles topográficos, y la utilización de la vegetación como indicadora de los cambios. En un principio, el trabajo se planteó desde la aplicación de herramientas que permitieran un análisis en detalle, haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el volcado y la integración de los resultados.

Sin embargo, el pormenorizado trabajo de campo realizado nos permitió comprender de forma cualitativa el funcionamiento del sistema, y definir los parámetros que lo caracterizaban. Así, se optó por la aplicación de un método mixto, en el que se fundieran los datos obtenidos de forma cuantitativa, a través de la aplicación de los SIG (como la distancia entre la línea de costa y el primer cordón dunar, la superficie de los espacios interdunares o las variaciones superficiales experimentadas por las unidades

sedimentarias), con los procedentes del ejercicio de comprensión cualitativa del sistema (entre los que se encuentran las observaciones sobre la dinámica vegetal o el análisis de las geoformas). Son precisamente estas valoraciones cualitativas las que han estructurado el análisis sobre la evolución del sistema, mientras las mediciones realizadas con un programa SIG han sido utilizadas como elementos de apoyo, tal y como sucede con el resto de las técnicas implementadas.

El resultado final de este estudio ha permitido comprobar las hipótesis de partida: *los importantes cambios ambientales experimentados por el sistema en los últimos cuarenta años son consecuencia directa del desarrollo turístico del área*. Pero, además, va más allá incluso de lo que se esperaba al principio de la investigación; pues si bien se habían detectado síntomas de la problemática ambiental de Maspalomas, no se era consciente de su gravedad.

En conclusión, queda patente que, en el desarrollo de este trabajo, ha sido necesario utilizar una densa red de técnicas, como consecuencia de la complejidad misma del objeto de análisis, y que de no haberse optado por los mencionados procedimientos mixtos, no habría sido posible alcanzar tales resultados.

Conclusiones: la transformación del sistema

Paralización del sedimento, amplio desarrollo de la vegetación, aparición del sustrato subyacente, generación de áreas de deflación eólica... son los principales rasgos del proceso de transformación experimentado por el sistema dunar de Maspalomas en los últimos 40 años, nacidos de la interferencia del desarrollo humano sobre el sistema natural. En definitiva, son indicadores que denotan cómo la evolución de este sistema ha estado condicionada, y alterada, por la ocupación turística.

Desde el punto de vista ambiental nos encontramos con un territorio cuyos componentes se encuentran estrechamente entrelazados, y en el que se establece una lucha por el

“dominio” del espacio: la dinámica sedimentaria responde a un modelo aparentemente “simple”, donde las arenas son trasladadas por los vientos y configuran distintos tipos de geoformas, según la topografía, la humedad o la presencia de distintas especies vegetales. Y, precisamente, es la vegetación la que mantiene una inevitable lucha por su supervivencia en medio del “mar” de arena: avanza por delante de las dunas, ocupando los espacios intermedios, donde el sustrato se mantiene húmedo; o aprovecha uno de estos espacios para crecer lo más rápidamente posible antes de que llegue la siguiente acumulación de arenas, que puede suponer su muerte por asfixia. Si consigue alcanzar la cima, no solamente garantiza su supervivencia, sino que paraliza la duna y establece un núcleo desde donde los ejemplares de su especie (y los de otras especies) puedan iniciar la colonización del medio. En este ámbito, cualquier pequeña variación, ya sea en la altura de una duna, en los milímetros de lluvia caídos en un año, en la coincidencia de un espacio interdunar con un sustrato con mayor o menor contenido en sales... supone una enorme diferencia: la que va del el fracaso al éxito.

En este contexto, la introducción de nuevas variables de origen antrópico supone una seria modificación de estas condiciones. Especialmente sensible se muestra uno de los elementos geomorfológicos más relevantes del sistema, la terraza del Inglés. Dadas sus particulares fisionomía y ubicación, determina directamente la dinámica sedimentaria eólica en los sectores septentrionales del campo dunar y, en buena medida, en los meridionales.

Así, nuestro estudio se inicia en un momento en el que ya son perceptibles algunos cambios sustanciales asociados a un proceso de desarrollo humano tradicional. La interceptación del sedimento es un hecho que ya encontramos en esta primera etapa, aunque parece que ésta no se produce de una forma definitiva, al menos en relación a lo que hoy conocemos como campo de dunas de Maspalomas. Los procesos observados permiten constatar cuáles han sido las principales modificaciones inducidas por el uso agrario:

- 1) La ocupación agrícola de la terraza del Inglés afecta, de forma progresiva, al sistema dunar activo. En este sector se localizaban algunas formas dunares únicas, como dunas rampantes y dunas en caída, que se ven seriamente condicionadas tras la implantación de cultivos a finales de los años 50 y principios de los 60.
- 2) Por su parte, la instalación de tomateras en la terraza baja implica, así mismo, medidas de protección frente a la erosión hídrica e inundaciones. Se gana terreno ocupando ampliamente algunos cauces fluviales y desviando su recorrido hacia el Oeste, por lo que se cierra toda posibilidad de nuevos aportes aluviales al sector medio del campo dunar.
- 3) El uso del interior del sistema como área de pastoreo, implica, así mismo, una modificación en la composición y dinámica de la vegetación.
- 4) La extracción de áridos para fines agrícolas es otra de las consecuencias directas de la actividad agrícola. Las arenas eran extraídas en la base occidental de la terraza del Inglés, y transportadas a terrenos no roturados sobre la terraza baja, al norte del campo dunar.

El conjunto de estas acciones altera el medio, pero su impacto no pone en peligro el funcionamiento del sistema dunar. En cambio, en una segunda etapa, caracterizada por el proceso de urbanización asociado al desarrollo turístico, la transformación es radical. Iniciada en los años 60, esta nueva actividad repercute directamente en el sistema, condicionando drásticamente su evolución por la alteración de sus condiciones naturales. Por supuesto, las transformaciones experimentadas están ligadas al frágil equilibrio ecológico que caracteriza los sistemas dunares, hecho que no fue tenido en cuenta en el momento de dar carta blanca al proceso urbanizador.

El factor que ha tenido mayor incidencia en la transformación de las condiciones preexistentes, tal y como se ha visto a lo largo de este trabajo, es la edificación del techo de la terraza sedimentaria, pues ha reforzado su papel como trampa de sedimentos, bloqueando el tránsito de éstos hacia los sectores septentrionales del interior. Al mismo tiempo también se ha intensificado su carácter de pantalla eólica, induciendo la desviación del flujo de viento efectivo hacia el sur, para rodear el obstáculo de las edificaciones. En un primer momento, esto ha implicado una mayor cantidad de arena circulando por los sectores meridionales pero, a su vez, ha reducido los aportes hacia las áreas interiores del sistema. En consecuencia, en estas últimas, se ha producido un déficit sedimentario que se ha saldado, bien paralizando las arenas en aquellos lugares donde también ha quedado bloqueado el flujo eólico; bien dando lugar a procesos de deflación donde el viento conserva su capacidad de transporte. En ambos casos podemos concluir que se ha producido la ruptura del equilibrio sedimentario.

En este proceso también tiene un papel destacado la vegetación, dado que, entre sus estrategias de supervivencia, como hemos visto, se encuentra la de ocupar rápidamente aquellos territorios donde la movilidad de los sedimentos muestra signos de debilidad. Con ello, además, intercepta más sedimentos e intensifica el proceso de estabilización. Así pues, y desde otra perspectiva, se ratifica la conclusión de que se ha producido la ruptura del equilibrio sedimentario y, por ello, también la del ecológico.

Las consecuencias de estas transformaciones implican los siguientes impactos:

- 1) Desaparición de formas dunares en los sectores ocupados por la propia urbanización del Inglés, es decir, en su parte meridional, donde aparecían dunas barjanas sobre el techo de la terraza, y en la occidental, donde existían dunas en caída.

- 2) Desaparición de las dunas que se localizaban al norte del actual sistema, por ocupación del campo de golf y la urbanización Campo Internacional.

- 3) Alteración sustancial de la Charca de Maspalomas, y de las comunidades helofíticas y el palmeral a ella asociados.
- 4) Mayor acumulación de sedimentos a barlovento de la terraza del Inglés, favorecida por el bloqueo que ha implicado la edificación, que refuerza su papel como trampa de sedimentos. De igual modo, la primera etapa del proceso urbanizador genera un incremento de la acumulación de sedimentos en los sectores sur, tanto los de la franja del Inglés como los del interior del sistema.
- 5) Estabilización de los sedimentos en el sector interior del sistema, como consecuencia también de la urbanización del Inglés. En este sector, además, la escasa movilidad de las arenas favorece un aumento de la cobertura vegetal, lo que conlleva una mayor paralización del proceso sedimentario eólico.
- 6) Generalización de procesos de deflación, que se identifican en el área intermedia del sistema (el sector de las hoyas), así como en el sector oriental del barranco de Maspalomas. Todo ello es consecuencia del bloqueo a los sedimentos y la presencia de vientos efectivos. Al igual que en el caso anterior, la ausencia de formas sedimentarias libres facilita un crecimiento importante de la cobertura vegetal, lo que, a su vez, incide en una mayor resistencia al tránsito sedimentario.
- 7) Generación de nuevas formas de acumulación en el vértice sur de la terraza, como consecuencia del giro que experimenta el viento, y la formación de un vórtice que termina por configurar dunas en herradura.

A la vista de estos resultados, podemos concluir que la evolución del sistema dunar de Maspalomas se ha visto seriamente comprometida por el desarrollo turístico.

Pero, además, se identifican otras huellas que ponen también de manifiesto hasta qué punto el uso turístico de este espacio está contribuyendo a su degradación. Éstas se localizan a una mayor escala, de detalle, de trabajo de campo, de reconocimiento diario de los indicadores que marcan la decadencia de un sistema, antes natural. La tala de elementos de la flora, el uso de los materiales que caracterizan una rica Historia Geológica como estructuras para la protección del viento, el abandono de basuras, la emisión de ruidos y olores... no son más que ejemplos del severo impacto que los usuarios producen en el sistema.

Estos impactos se resumen en los siguientes:

1) En el sistema interior:

- 1.1) El tránsito de visitantes produce un pisoteo sobre las arenas, lo que determina su compactación y, con ello, imposibilita el desarrollo de la vegetación.
- 1.2) La estancia en el interior del sistema conlleva la construcción de estructuras de protección, con la consiguiente destrucción de ejemplares de la flora, que son talados para su creación. Al tiempo, se producen acciones de micción y defecación, así como abandono de basura, con consecuencias sobre la vegetación –estrés de algunos ejemplares, que llegan a morir por la concentración de ácidos-, sobre la fauna –presencia de ratas y gatos- y sobre la calidad sensitiva del paisaje.

2) En el ámbito de playa:

- 1.3) La construcción de estructuras (goros) para la protección contra el viento genera dos impactos: por un lado, la destrucción de las paleo-barras; por otro, la alteración de la dinámica sedimentaria.

- 1.4) Las infraestructuras de playa (kioscos, hamacas y sombrillas) afectan, en algunos casos, a la dinámica sedimentaria, generando acumulaciones y pasillos de deflación.
- 1.5) El pisoteo de brinzales de *Traganum moquinii* ha bloqueado su regeneración, lo que puede implicar, a su vez, la desaparición del primer cordón de dunas, necesario para la protección del sistema.

A modo de conclusión final y, realizando un análisis comparativo con las transformaciones apuntadas por otros autores, en otros espacios con características semejantes, podemos observar como, en los últimos 40 años, el sistema dunar de Maspalomas ha sufrido una gran transformación debido a la interacción de las actividades humanas. Para la primera etapa estudiada en Maspalomas (principios de los años 60), el paralelismo con lo establecido por otros autores es el siguiente: ocupación de un espacio dunar por parte de la agricultura (Thomas, 1999); extracciones de áridos con fines agrícolas (Sanjaume y Pardo, 1991), y uso del sistema como área de pastoreo (Lesica y Cooper, 1999).

A partir de la segunda etapa, se produce la mayor transformación, asociada al desarrollo turístico, lo que desencadena una serie de cambios importantes. Comparando los procesos que aquí se desarrollan con los descritos por otros autores para otros sistemas de dunas, cabe citar las siguientes coincidencias: la degradación del espacio como consecuencia de la construcción de zonas urbanas y de usos recreativos (Paskoff, 1993; Jaramillo, 1986); el bloqueo del transporte de arenas por infraestructuras en las playas, que actúan como trampas de sedimentos hacia el interior del sistema, con efectos que se siguen manifestando mucho tiempo después de que las construcciones hayan sido retiradas (Paskoff y Ouelati, 1991; Paskoff, 1998); el desarrollo de actividades en el interior del espacio, que llevan a la destrucción de la vegetación por la creación de caminos (Sanjaume y Pardo, 1991) o incendios (Lesica y Cooper, 1999). De forma atemporal hay

que reconocer, igualmente, el uso del espacio para el desarrollo de maniobras militares (Paskoff, 1993) y la introducción de fauna silvestre, como conejos (Lesica y Cooper, 1999; Thomas, 1999).

Finalmente, en los últimos años se identifica una alarmante pérdida sedimentaria que puede llevar a la inestabilización de la primera línea de dunas, elemento clave del que depende, en buena medida, el mantenimiento de las condiciones de estabilidad sedimentaria de la línea de costa, cuestión que ya sido tratada por Bauer y Sherman (1999).

En conjunto, las transformaciones experimentadas por este sistema representan un grado de sinergia muy alto, como consecuencia de la potenciación que se produce en la alteración de muchos de los factores que caracterizan el sistema natural, cuestión que también ha sido abordada por otros autores, tanto desde el punto de vista de la dinámica sedimentaria eólica (Alcántara-Carrió, 1999), como en cuanto a la sucesión y a la dinámica de la vegetación (Lesica y Cooper, 1999). En consecuencia, nos encontramos en un momento caracterizado por la ruptura de los equilibrios sedimentario y ecológico, lo que puede estar marcando un punto de inflexión en su degradación y, con ello, en la pérdida de las condiciones que garantizan la perviviencia de este sistema dunar.

El último aspecto que implica una importante distorsión en la evolución del sistema dunar de Maspalomas, se constata en los últimos años, y responde a unas pautas que, por graves, pueden estar indicando la desaparición del sistema en un tiempo relativamente corto, aún considerando éste desde el punto de vista humano. Se trata de un proceso que se identifica por un déficit de entrada de sedimentos en el sistema desde el mar, lo que incide aún más en los síntomas que denotan una ruptura en su equilibrio sedimentario, hecho ya previsto por algunos autores hace más de una década (Martínez *et al.*, 1986).

Este proceso se corrobora en un dato esencial: el aumento progresivo de la distancia entre la línea de playa y las primeras dunas móviles, que responde a un ritmo exponencial. En su lugar, se crea una amplia llanura de deflación, en la que únicamente son visibles algunas formas de acumulación de escaso tamaño, siempre relacionadas con las geoformas más representativas de un balance favorable al flujo eólico. Igualmente, los materiales geológicos que conforman el basamento del sistema, antes ocultos por la arena, están aflorando en amplias zonas.

Los indicios de esta ruptura del equilibrio sedimentario son múltiples y se localizan por todo el campo de dunas, lo que indica una pérdida de volumen de arena muy importante. Pero además, dado que esta reducción de aportes se constata directamente en el litoral, no cabe la menor duda de que las causas que lo producen se localizan en la periferia del sistema.

Ahora bien, a diferencia de los otros problemas detectados, el origen de este proceso no ha sido analizado en este trabajo. El tiempo de análisis, que implicaría dar con la causa de este bloqueo sedimentario, desborda el establecido para esta investigación. Además, la clave debe estar en el ámbito marino, por lo que son necesarios métodos técnicas diferentes a las aquí utilizadas.

Perspectivas

Considerando los resultados obtenidos, y el escenario dibujado en las conclusiones, desde este trabajo se plantean las perspectivas inmediatas que se abren, tanto desde la investigación científica, como desde la gestión del espacio. Ambas deben entenderse de forma entrelazada, ya que será ésta la única posibilidad de salvaguardar el sistema dunar de Maspalomas y garantizar, con ello, el desarrollo económico del sector turístico insular.

Respecto a la investigación, y retomando la problemática del bloqueo sedimentario que experimenta el sistema dunar, proponemos varias hipótesis de partida que deberán ser resueltas por futuros trabajos. Para ello, partimos de dos marcos generales, uno eminentemente natural, y el otro humano.

El marco natural parte de la posibilidad de que las causas que han podido propiciar esta pérdida sedimentaria no fuesen achacables a las actuaciones humanas. En este sentido, se podría considerar varias hipótesis. La primera plantea el posible agotamiento del banco submarino de arenas que alimentaba el sistema dunar, lo cual implica, directamente, la consideración de que el ciclo sedimentario establecido por otros autores no existe. La lógica que nos lleva a realizar esta afirmación es la siguiente: si existiese este ciclo, no se explicaría tal agotamiento, dado que estaría garantizada la recarga sedimentaria con el proceso anual de erosión de la playa de Maspalomas, y el posterior traslado de los sedimentos a la del Inglés.

La segunda hipótesis plantearía la existencia de un ciclo sedimentario superior a los 40 años estudiados. Esta hipótesis considera que nos encontramos al final de un ciclo caracterizado por un déficit sedimentario, que sucede y antecede, en el tiempo, a otros, con signo contrario, es decir, en los que se produce superávit sedimentario.

También podría achacarse este déficit a la emigración del banco de arena fuente que se habría desplazado del lugar que ocupaba a principios de los años 60, por lo que ya no puede garantizar el suministro al sistema dunar actual.

Por último, también cabe la posibilidad de considerar que los procesos de erosión vistos sean la consecuencia lógica de un cambio global, relacionado con los elementos del clima, particularmente de los vientos. En este sentido, nos encontraríamos ante proceso de adaptación del sistema dunar a las nuevas condiciones naturales.

En cuanto al segundo marco, el que responsabiliza a la intervención humana de la pérdida sedimentaria, proponemos una única hipótesis. El proceso se encontraría directamente vinculado al desarrollo turístico que se produjo al norte del sistema estudiado. En este sentido, la raíz se encontraría en la construcción de urbanizaciones turísticas en todo el frente litoral, desde el Morro Besudo hasta Maspalomas, así como de varios diques, destinados a la creación de playas artificiales y al freno de las corrientes marinas, al norte de la playa del Inglés. Esta hipótesis, que ya fue planteada parcialmente por otro autor (Martínez *et al.*, 1986), establece que las urbanizaciones estarían funcionando como pantallas eólicas, por lo que no dejan que los vientos accedan a la playa del Inglés en sus condiciones originales, incidiendo también en el oleaje; al tiempo, los diques habrían frenado las corrientes marinas y, con ello, los sedimentos. Entre ambos habrían producido una ruptura del ciclo sedimentario del sistema, en el que las arenas quedarían retenidas en la bahía, sin posibilidades de acceder a la playa del Inglés.

Desde este trabajo y, aún sabiendo que sólo otra investigación podrá esclarecer las causas de esta pérdida sedimentaria, nos inclinamos por la última hipótesis planteada. Las razones que nos llevan a ella son dos. La primera es la localización de dunas esporádicas en la playa de las Burras (figura VII.1). Estas formas responden a una acumulación progresiva de sedimentos que, si bien no ha sido cuantificada, sí ha sido constatada en fotografías aéreas de diferentes años. El dique que fue ubicado para la creación de esta playa ha seguido actuando, interceptando las corrientes, por lo que retiene cada vez más arenas, impidiendo su tránsito hacia la playa del Inglés.



Figura VII.1. Imagen IKONOS, julio de 2000. Dunas barjanas en la playa de las Burras

La segunda razón es aportada por el análisis de la imagen captada por el satélite IKONOS en julio de 2000, imagen que permite observar un aumento en la reflectividad de las aguas que se localizan en esta bahía, justamente entre los diques señalados (figura VII.2). Este aumento estaría indicando un mayor contenido de elementos en suspensión, que puede ser significativo del mencionado proceso.

Lógicamente, los dos aspectos anteriormente señalados no dan respuesta, por sí solos, a la pregunta planteada, aunque parecen reforzar la probabilidad de éxito de la última hipótesis. De cualquier forma, no se pueden descartar ninguna de las anteriores, así como considerar que alguna de ellas pueda explicar el proceso de pérdida sedimentaria.

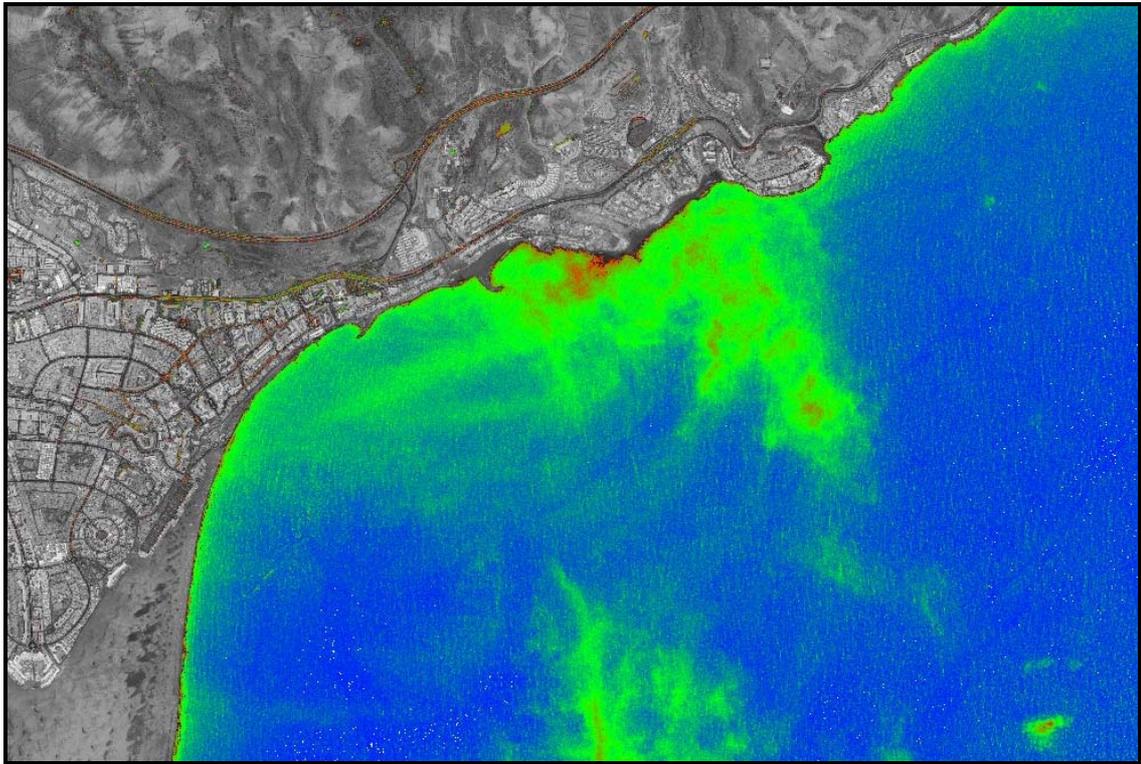


Figura VII.2. Sedimentos en suspensión al norte de la Playa del Inglés

No cabe duda de que se hace necesario abordar, de forma urgente, una investigación que permita solventar las cuestiones pendientes acerca del déficit sedimentario que afecta al sistema dunar. En cualquier caso, este estudio requeriría conocer en profundidad el funcionamiento de las corrientes marinas de la zona, así como la variabilidad estacional de los sedimentos y su relación con las medidas de “protección contra la erosión costera” (diques y espigones) desarrolladas en el pasado. De igual forma, es necesario abordar el estudio de la variabilidad sedimentaria en las playas artificiales localizadas al norte de Maspalomas, siendo la de las Burras la que requiere, desde nuestro punto de vista, una atención especial.

Esta investigación necesita de un estudio complementario en la línea de costa de la playa del Inglés, así como en el sector que marca la distancia desde ésta hasta el primer cordón de dunas móviles. Este espacio es clave para realizar un seguimiento multianual y multiestacional de la dinámica sedimentaria eólica, en el que se dé respuesta al avance de

los sedimentos hacia el interior del sistema, a las formas que adoptan sus acumulaciones, a sus volúmenes, así como a otros elementos relacionados con la geomorfología eólica, tales como el funcionamiento de las llanuras de deflación o los ritmos de aparición de los materiales que conforman el basamento.

Aplicable a todo el sistema, pero en el mismo marco de las investigaciones indicadas, se hace necesario proceder a la caracterización, de forma más ajustada a la aquí realizada, de las pérdidas sedimentarias, conocer su evolución en detalle en los últimos años, cartografiar las áreas que se están viendo más afectadas y en qué medida. Para ello será necesario proceder a la elaboración de modelos digitales de elevaciones muy precisos.

Cerrando el círculo de esta necesaria investigación, se propone la realización de un trabajo que permita conocer las transformaciones ambientales que este déficit sedimentario está ocasionando en el interior del sistema dunar. Los lugares indicados para realizar esta investigación son todos los comprendidos entre el sector de las hoyas y el área oriental del barranco de Maspalomas, ya que, en los últimos años, experimentan un incremento notable de la cobertura vegetal, con una capacidad manifiesta de estabilización del sedimento. Del mismo modo se hace necesario conocer y caracterizar las llanuras de deflación que se localizan en estos sectores, al apreciarse en ellas importantes incrementos de su extensión, y donde también la vegetación muestra cambios muy relevantes. El estudio en profundidad de los materiales geológicos que se localizan en el sector permitirá conocer, igualmente, el funcionamiento del nivel freático.

En relación a las propuestas para la correcta gestión de espacio, la primera cuestión a tratar es la necesaria aceptación de la realidad: el sistema dunar de Maspalomas, que suministra la mayor parte de los recursos económicos de los que dispone la isla, se encuentra gravemente “enfermo”. Independientemente de que la pérdida sedimentaria que se aprecia sea debida a causas naturales o provocadas por el hombre, el hecho manifiesto es que este sistema sufre las consecuencias de una pésima planificación urbanística, dado

que jamás se tuvo en cuenta la previsible afección que la ocupación de la terraza sedimentaria del Inglés podía provocar en el tránsito de los sedimentos y, con ello, en el propio equilibrio ecológico del área.

Por tanto, de cara a su correcta gestión conviene establecer claramente cuáles son los problemas de fondo de este sistema en la actualidad y, así mismo, sus posibilidades de recuperación. Hay que tener en cuenta, no obstante, que cualquier acción a emprender debe pasar por un riguroso seguimiento de cara a conocer si las alternativas a adoptar responden a las necesidades particulares de este sistema, dados los antecedentes que existen en otros espacios similares sobre la destrucción inducida por la toma de medidas incorrectas (Paskoff, 1993).

BIBLIOGRAFÍA

AGUILERA KLINK, F. *et alii* (1994): *Canarias. Economía, ecología y medio ambiente*; Francisco Lemus Editor, La Laguna, 361 pp.

AL-AWADHI, J. y WILLETTS, B. (1999): Sand transport and deposition within arrays of non-erodible cylindrical elements; *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 423-435.

ALCÁNTARA-CARRIÓ, J. (1998): *Estudio de la dinámica sedimentaria eólica en las dunas de Maspalomas*; Informe presentado al Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana (inédito), 35 pp.

ALCÁNTARA-CARRIÓ, J. (1999): *Dinámica sedimentaria eólica actual en el Istmo de Jandía (Fuerteventura)*; Tesis Doctoral (Inédita), Departamento de Física de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 320 pp.

ALCÁNTARA-CARRIÓ, J. y ALONSO, I. (1998): Influencia de los factores ambientales sobre la dinámica sedimentaria eólica en el istmo de Jandía (Fuerteventura); *Libro de resúmenes del XIII Congreso Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural: Conservación Ambiental*, 138.

ALCÁNTARA-CARRIÓ, J. y ALONSO, I. (2000): Propuestas metodológicas para el estudio de los ambientes eólicos costeros actuales; En: ANDRÉS, J.R. y F.S. GRACIA (Eds.): *Geomorfología Litoral. Procesos activos*, Monografías de la S.E.G, 7, Madrid: 81-92.

ALCÁNTARA-CARRIÓ, J.; ALONSO, I.; HERNÁNDEZ, L.; PÉREZ-CHACÓN, E. y ROMERO, L. (1996): Landscape evolution and human alterations of the aeolian sediment dynamics in the Jandía Isthmus (Fuerteventura, Spain); En J. TAUSSIK and J.

MITCHELL (Eds.): *Partnership in Coastal Zone Management*; Samara Publishing Limited, Cardigan: 283-290.

ALCÁNTARA-CARRIÓ, J.; ALONSO, I.; OJEDA, M.A.; HERNÁNDEZ, L.; PÉREZ-CHACÓN, E. y ROMERO, L. (1996): Estudio del campo de vientos y del transporte eólico de sedimentos en el Istmo de Jandía (Fuerteventura); *Geogaceta*, 20, 2: 300-302.

ALCANTARA-CARRIÓ, J.; DIZ, P.; ALEJO, I.; FRANCÉS, G.; ALONSO, I. y VILAS, F. (2000): Contenido en foraminíferos de los depósitos eólicos del istmo de Jandía (Fuerteventura); *Geogaceta*, 27: 195-198.

ALCANTARA-CARRIÓ, J.; FERNÁNDEZ-BASTERO, S.; ALEJO, I.; ALONSO, I. y VILAS, F. (2000): Caracterización mineralógica e identificación de las áreas fuentes de los sedimentos actuales del istmo de Jandía (Fuerteventura); *Geogaceta*, 27: 199-202.

ALONSO, I. (1993): *Procesos sedimentarios en la playa de las Canteras (Gran Canaria)*; Tesis Doctoral (Inédita), Departamento de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 333 pp.

ALONSO, I.; ALCÁNTARA-CARRIÓ, J.; MONTESDEOCA, I., y BIDEGAÍN, G. (1998): Characteristics of aeolian sediments at Jandía Isthmus (Fuerteventura); *15th International Sedimentological Congress: Sedimentology at the dawn of the third millenium*: 130-131.

ALONSO, I.; MONTESDEOCA, I.; VIVARES, A. y ALCÁNTARA-CARRIÓ, J. (2001a): Aproximación a la modelización de la dinámica litoral de las playas de El Inglés y Maspalomas (Gran Canaria); *Vector Plus*, 18: 17-27.

ALONSO, I.; MONTESDEOCA, I.; VIVARES, A. y ALCÁNTARA-CARRIÓ, J. (2001b): Variabilidad granulométrica y de la línea de costa en las playas de El Inglés y Maspalomas (Gran Canaria); *Geotemas*, 3 (1): 39-42.

ALONSO, R. (1998): Los kioscos de Maspalomas y Playa del Inglés deberán modificarse para reducir su impacto sobre las dunas; *Medio Ambiente Canarias*, 7: 14-15.

ANDRÉS, J.R. y F.S. GRACIA (2000) (Eds.): *Geomorfología Litoral. Procesos activos*, Monografías de la S.E.G, 7, Madrid, 225 pp.

ANGUITA, F. y MORENO, F. (1993): *Procesos geológicos externos y Geología ambiental*; Ed. Rueda, Madrid, 311 pp.

AUBIÉ, S. y TASTET, J.P. (2000): Coastal erosion, processes and rates: An historical study of the Gironde coastline, southwestern France; *Journal of Coastal Research*, 16 (3): 756-767.

BAGNOLD, R.A. (1941): *The physics of blown sand and desert dunes*; Methuen, Londres, 265 pp.

BANNERMAN, D. (1922): *The Canary history, natural history and scenary*; Gurney and Jackson, London, 365 pp.

BAUER, B.D. y SHERMAN, D.J. (1999): Coastal dune dynamics: problems and prospects; En: GOUDIE, A.S.; LIVINGSTONE, I. y STOKES, S. (Eds.): *Aeolian environments, sediments and landforms*; John Wiley and sons, London: 71-104.

BETANCORT, M. y GONZÁLEZ, N. (1995): Dinámica de las poblaciones vegetales de “El Charco de Maspalomas” (Gran Canaria. Islas Canarias); *Botánica Macaronésica*, 22: 13-24.

BIRD, E. (1984): *Coasts*; Basil Blackwell Publisher Limited, Oxford, 320 pp.

BIRD, E. (1986): *Coastline changes. A global review*; John Wiley and sons, London, 219 pp.

BROCK, J. *et alii* (2002): Basis and methods of NASA Airborne Topographics Mapper Lidar surveys for coastal studies; *Journal of Coasts Research*, 18 (1): 1-13.

BROOKE, B. (2001): The distribution of carbonate eolianite; *Earth-Science Reviews*, 55: 135-164.

BROWN, D.G. y ARBOGAST, A. (1997): Application of digital photogrammetry to the study of active coastal dunes; *AAG Annual Meeting* (s/n).

BROWN, D.G. y ARBOGAST, A. (1999): Digital photogrammetric change analysis as applied to active coastal dunes in Michigan; *Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 65 (4): 446-447.

CALLOT, Y. y OULEHRI, T. (1996): Géodynamique des sables éoliens dans le Nord-Ouest saharien: relation entre aérologie et géomorphologie; *Geodinamica Acta*, 9 (1): 1-12.

CARRACEDO, J.C. (1988): Etapas de la formación de las Canarias; En: VV.AA.: *Geografía de Canarias*, Editorial Interinsular Canaria, Tomo I: 39-54.

CARTER, R. (1998): *Coastal environments*; Academic Press, London, 617 pp.

COOTE, D.R.; DUMANSKI, J. y RAMSEY, J.F. (1981): An assessment of the degradation of agricultural lands in Canada; *Agricultural Land Resource Research Institute, Contributions* 118.

CRAIG, M.S. (2000): Aeolian sand transport at the Lanphere Dunes, Northern California; *Earth Surface Processes and Landforms*, 25: 239-253.

CRIADO, C. (1987): Evolución geomorfológica y dinámica actual del Jable de Corralejo (Fuerteventura. Islas Canarias); *Revista de Geografía Canaria*, 2: 29-52.

CRIADO, C. (1988): El relieve erosivo; En: VV.AA.: *Geografía de Canarias*, Editorial Interinsular Canaria, Tomo I: 105-142.

CRIADO, C. (1991): *La evolución del relieve de Fuerteventura*; Excmo. Cabildo Insular de Fuerteventura, 318 pp.

CHARLIER, R.H. y DE MEYER, C.D. (2000): Ask Nature to protect and build-up beaches; *Journal of Coastal Research*, 16 (2): 385-390.

CHUVIECO, E. (1996): *Fundamentos de Teledetección Espacial*; RIALP, Madrid, 568 pp.

DAVIES, J.L. (1980): *Geomorphological variation in coastal development*; Longman, Nueva York, 212 pp.

DERBYSHIRE, E.; GREGORY, K.J. y HAILS, J.R. (1980): *Geomorphological processes*; Butterworths, London, 312 pp.

DUNHAM, R.J. (1962): Classification of carbonates rocks according to depositional texture; En HAM, W. (Ed.): *Classification of carbonate rocks*; Am. Assoc. Petrol. Geol., Mem. 1: 108-121.

ELEVELD, M. A. (1999): *Exploring coastal morphodynamics of Ameland (the Netherlands) with remote sensing monitoring techniques and dynamic modelling in GIS*; ITC, Enschede, 225 pp.

ESTEVE, F. (1968): Datos para el estudio de las clases Ammophiletea, Juncetea y Salicorniotea en las Canarias Orientales; *Collectanea Botanica*, VII (I) nº 15.

EVERITT *et alii* (1999): Distinguishing ecological parameters in a coastal area using a video system with visible / near-infrared / mid-infrared sensivity; *Journal of Coastal Research*, 15 (4): 1145-1150.

FANEGO, F.; GALLEGO, M. y LAGO, J. (1999): Evolución de la dunas del Parque Natural do Complexo dunar de Corrubedo e Lagoas de Garregal e Vixán; *Actas del Congreso de ordenación y gestión sostenible de montes*, Santiago de Compostela, s/n.

FELICÍSIMO, A.M. (1994): *Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en las Ciencias Ambientales*; Ed. Pentalfa, Oviedo, 222 pp.

FERNÁNDEZ, A. y SANTOS, E. (1999): Turismo y uso público en los espacios naturales protegidos andaluces. El estado de la cuestión a los diez años de la aprobación de la Ley de Espacios Naturales Protegidos de Andalucía; *XVI Congreso de la A.G.E.*: 439-448.

FERNÁNDEZ, M.; SANTOS, A. y DOMÍNGUEZ, F. (1982): El complejo dunar de Corralejo (Fuerteventura); *Gaceta de Canarias* 3: 73-83.

FERNÁNDEZ, L. (1991): *Geografía general del turismo de masas*; Alianza, Madrid, 809 pp.

FOLK, R.L. (1959): Practical petrographic classification of limestones; *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 43: 1-38.

FOLK, R.L. (1962): Spectral subdivision of limestones types; En: HAM, W. (Ed.): *Classification of carbonate rocks*; Am. Assoc. Petrol. Geol., Mem. 1: 62-84.

FRAIRBRIDGE, R.W, y JOHNSON, D.L. (1978): Eolianite; En: FRAIRBRIDGE, R.W. y BOURGEOIS, J. (Eds): *The encyclopedia of Sedimentology*; Dowden, Hutchinson and Ross, Stroudsburg: 279-282.

GARCÍA, M.R.; GALLEGO, J.B.; WILLIAMS, A.T. y GARCÍA, F. (2001): A coastal dune vulnerability classification. A case study of the SW iberian peninsula; *Journal of Coastal Research*, 17 (4): 802-811.

GARCÍA, R. y PEÑA, M. (1995): Contribución al conocimiento de la fauna coleópterológica en los ecosistemas dunares de Gran Canaria (Islas Canarias); *Anuario de Estudios Atlánticos*, 41: 17-37.

GONZÁLEZ, M (1995): Notas sobre la Characeae de “El Charco de Maspalomas”; *Botánica Macaronésica*, 21: 37-42.

GONZÁLEZ, M. (1977): Estudio de la vegetación litoral de la zona de Maspalomas; *Botánica macaronésica*, 4: 23-30.

GOUDIE, A. *et alli* (1981): *Geomorphological techniques*, British Geomorphological Research Group - George Allen and Unwin, London, 395 pp.

GRACIA, F.J.; BENAVENTE, J. y ANFUSO, G. (2000): Clasificación de costas y ambientes litorales; En: ANDRÉS, J.R. y GRACIA, F.S. (Ed.): *Geomorfología Litoral. Procesos activos*, Monografías de la S.E.G, 7, Madrid: 13-30.

GUITIÁN, C.; MARTÍN, F. y NADAL, I. (1883): Formaciones sedimentarias del Cuaternario Medio al Holoceno en la isla de Gran Canaria; *VIII Coloquio de Geografía*, I: 239-242.

GUTIÉRREZ, M. (2001): *Geomorfología climática*; Ediciones Omega, Barcelona, 642 pp.

HANSON, J.D. (1988): *Coasts*; Cambridge University Press, London, 96 pp.

HAPKE, C. y RICHMOND, B. (2000): Monitoring beach morphology changes using small-format aerial photography and digital softcopy photogrammetry; *Environmental Geosciences*, 7 (1): 32-37.

HERNÁNDEZ, J.A. (2001): Perfil del turismo en el sur de Gran 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: 159-169.

HERNÁNDEZ, L.; RUIZ, P.; PÉREZ-CHACÓN, E.; SUÁREZ, C.; ALONSO, I. y ALCÁNTARA-CARRIÓ, J. (2002): *Informe sobre los Impactos Ocasionados por los Kioscos de Playa del Inglés*; Informe presentado al Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana (Inédito), 65 pp.

HERNANDEZ, L.; RUIZ, P.; NARANJO, A.; CAMINO, J.; ROMERO, L. y PÉREZ-CHACÓN, E. (1999): Aplicaciones de las unidades de paisaje en los diagnósticos de limitaciones para acoger usos urbanos; *Monografías de l'EQUIP*, 7: 91-104

HÖLLERMANN, P. (1990): Zur geoökodinamic von dünen: eine fallstudie aus süd-Fuerteventura (Kanarische Inseln); *Geoökodinamik*, 11 (2-3): 213-240.

IMBRIE, J.; HAYS, J.D.; MARTINSON, D.G.; MCINTYRE, A.; MIX, A.C.; MORLEY, J.J. ; PISIAS, N.G.; PRELL, W.J. y SHACKLETON, N.J. (1984): The orbital theory of Pleistocene climate: support from a revised chronology of the marine ¹⁸O reconrd; En: BERGER, A.L.; IMBRIE, J.; HAYS, J.; KUKLA, G. y SALZMAN, B. (Eds): *Milankovich and Climate: Part 1*, Reidel Dordrecht: 269-301.

INSTITUTO JAUME ALMERA DE INVESTIGACIONES GEOLÓGICAS, C.S.I.C. (1976): *Leyenda para el mapa geomorfológico de Francia (1/50 000)*; Barcelona, 69 pp.

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (ITGE) (1990): *Mapa geológico de España escala 1:25.000. 1114-III (83-86; 83-87): Maspalomas*; Madrid, 93 pp. (Tomo memoria) y Cartografía.

JAMES, N.P. (1997): The cool-water carbonate deposition realm; En: JAMES, N.P. y CLARKE, J.A. (Eds): *Cool waters carbonates*; SEPM, Special Publication, nº56, Society of Sedimentary Geology, Tulsa: 1-21

JARAMILLO, A. (1986): Las dunas del litoral: al capricho del viento; *Revista MOPU*, 336: 18-24.

JOVER-FERNÁNDEZ DE BOBADILLA, D. (1973): *Notas para una climatología de Gando*; Servicio Meteorológico Nacional, publicación A-59, Madrid.

KAY, R. y ALDER, J. (1999): *Coastal Planning and Management*; E and FN Spon, London, 375 pp.

KING, C. (1972): *Beaches and coasts*; Edward Arnold Ltd., London, 570 pp.

KLUG, H. (1968): *Morphologische studien auf den Kanarischen Inseln*; Schriften des geographischen Instituts der Universität Kiel, nº 24, Schmidt and Klauning, Kiel, 184 pp.

KOCUREK, G.A. (1996): Desert aeolian systems; En: READING, H.G. (Ed.): *Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy*; Blackwell Science, London: 125-153.

KOMAR, P.D. (1998): *Beach processes and sedimentation*; Prentice Hall, New Jersey, 544 pp.

KUNKEL, G. (1977): *Endemismos canarios. Inventario de las plantas vasculares endémicas de la provincia de Las Palmas*; Ministerio de Agricultura-ICONA, Madrid, Monografías, 15: 1-436.

LANCASTER, N. y BAAS, A. (1998): Influence of vegetation cover on sand transport by wind: field studies at Owens Lake, California; *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 69-82.

LESICA, P. y COOPER, S.V. (1999): Succession and disturbance in sandhills vegetation: constructing models for managing biological diversity; *Conservation Biology*, 13 (29): 293-302.

LIVINGSTONE, I. y THOMAS, D.S. (1993): Models of linear dune activity and their paleoambiental significance: an evaluation with reference to Southern African examples; En: PYE, K. (Ed.): *The dynamics and environmental context of aeolian sedimentary systems*; The Geological Society, Special publication, nº 72, London: 91-103.

LLAMAS, M.R. (1990): Geohydrology of the eolian sands of the Doñana National Park (Spain); *Catena*, Supplement 18: 145-154.

MACAU, F. (1960): Contribución al estudio del Cuaternario de Gran Canaria; *Anuario de Estudios Atlánticos*, 6: 117-132.

MARTÍN, J.L. *et alii* (1995): *La red canaria de Espacios Naturales Protegidos*; Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente del Gobierno de Canarias, 412 pp. (Tomo Memoria).

MARTÍNEZ, J. (1985): Dunas de Maspalomas (Gran Canaria, España): Los parámetros morfoscópicos-granulométricos; *Boletín Geológico y Minero*, 96, 5: 486-491.

MARTÍNEZ, J. (1986): Dunas de Maspalomas (Gran Canaria): Naturaleza petrológica de sus arenas; *Anuarios de Estudios Atlánticos*, 32: 785-794.

MARTÍNEZ, J. (1990): La provincia morfodinámica de Morro Besudo- Faro de Maspalomas (Isla de Gran Canaria, España): Conocimiento y comprensión de sus procesos geomorfológicos y sedimentarios para la planificación y gestión de este litoral; *I Reunión Nacional de Geomorfología*: 351-363.

MARTÍNEZ, J. (1994): Cartographic characterization of the littoral camp of dunes; *Coastal Dynamics'94. Proceedings of an International Conference on the role of the Large Scale Experiments in Coastal Research*: 462-475.

MARTÍNEZ, J. y CÁRDENES, M. (1987): Cambios Topográficos y Sedimentológicos en las playas arenosas de El Inglés y Maspalomas (Gran Canaria - España); *Actas de la 7ª Reunión sobre el Cuaternario*: 223-226.

MARTÍNEZ, J. y CASAS, R. (1992): La dinámica sedimentaria del litoral meridional de Gran Canaria (Islas Canarias); I Jornadas españolas de costas y puertos (s/n).

MARTÍNEZ, J.; CARPIO, P.; GÓMEZ, M.; HERNÁNDEZ, T. y MENA, A. (1986): *Las Dunas de Maspalomas: Geología e impacto del entorno*; Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria y Universidad Politécnica de Canarias, Las Palmas de Gran Canaria, 151 pp.

MARTÍNEZ, J.; ROSARIO, M. y CÁRDENES, M. (1989): La evolución geomorfológica de la Punta de la Bajeta, en la playa de Maspalomas (Isla de Gran Canaria, España); *Actas de la IX Bienal de la R.S.E.H.N.*: 235-243.

MARTÍNEZ, J.; CASAS, D.; PELEGRÍ, J.L.; SANGRÁ, P. y MARTÍNEZ, A. (1995): Metodología verificada en el estudio de las dunas litorales; *III Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos*: 667-680.

MARZOL, M. (1987): *Las precipitaciones en las Islas Canarias*; Secretariado de publicaciones de la Universidad de La Laguna, La Laguna, 220 pp.

McKEE, E.D. (Ed.) (1979): *A study of global sand seas*; Professional Paper, nº 1052, United States Geological Survey, Washington, 429 pp.

MECO, J. (1977): Paleontología de Canarias. Tomo I: Los Strombus neógenos y cuaternarios del Atlántico Euroafricano. Cabildo Insular de Gran Canaria, Madrid.

MECO, J. (1982): Los bivalvos fósiles de las Canarias orientales; *Anuario de Estudios Atlánticos*, 28: 65-125.

MECO, J.; GUILLOU, H.; CARRACEDO, J.C.; LOMOSCHITZ, A., RAMOS, A.J. y RODRÍGUEZ, J.J. (en prensa): *The maximum warmings of the Pleistocene world climate recorded in the Canary Islands*.

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y TRANSPORTES (1992): *Guía para la elaboración de estudios del Medio Físico. Contenido y metodología*; Madrid, 809 pp.

MOORE, L.J. (2000): Shoreline mapping techniques; *Journal of Coastal Research*, 16 (1): 111-124.

NADAL, I. y C. GUITIAN (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, Madrid, 236 pp.

NARANJO, R. (1999): *Maspalomas espacio natural*; Consejería de Turismo del Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana, 365 pp.

NARANJO, R. y CARDONA, M. (1995): *Dunas de Maspalomas, Reserva natural Especial*; Ed. 8 Islas, Las Palmas de Gran Canaria, 16 pp.

NETTLETON, W.; OLSON, C. y WYSOCKI, D. (2000): Paleosol classification: Problems and solutions; *Catena*, 41 (1-3): 61-92.

NICKLING, W.G. (1994): Aeolian sediment transport and deposition; En: PYE, K.: *Sediment transport and depositional processes*; Blackwell Scientific Publications, London: 293-350.

NONN, H. (1987): *Geografía de los litorales*; Akal, Madrid, 199 pp.

NORDSTROM, K. (1994): Beaches and dunes of human-altered coasts; *Progress in Physical Geography*, 18 (4): 497-516

OJEDA, J. (2000): Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta; *Boletín de la A.G.E.*, 30: 103-118.

OJEDA, J. y VALLEJO, I. (1995) La flecha de El Rompido: análisis morfométrico y modelos de evolución durante el período 1943-1991. *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (3): 229-239.

OJEDA, J. y MÁRQUEZ, J.: (1997) Modelos digitales de elevaciones (MDE) para la caracterización altimétrica de espacios marismesños: las marismas del Odiel (Huelva, España); *Rev. Soc. Geol. Esp.*, 10 (1-2): 147-163.

OJEDA, J.; MOREIRA, J.M. y LOBATO, A. (1987): Teledetección y cartografía de fenómenos litorales; *Actas de la segunda Reunión del Grupo de trabajo de Teledetección*, Valencia, (s/n).

OJEDA, J.; FERNÁNDEZ-PALACIOS, J.M.; MOREIRA, J.M. y SÁNCHEZ, E. (1994): Programa de seguimiento de la calidad y dinámica del espacio marino y litoral a través de imágenes de satélite (Andalucía. Agencia de Medio Ambiente); *Revista de Teledetección*, 3: 9-15.

PARREÑO, J.M. (2001a): El proceso de urbanización del espacio turístico; En: HERNÁNDEZ, J.A. y PARREÑO, J.M. (Coords): *Evolución e implicaciones del turismo en Maspalomas Costa Canaria*; Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana: 71-101.

PARREÑO, J.M. (2001b): 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: 103-127.

PASKOFF, R. (1993): *Côtes en danger*; Masson, París, 250 pp.

PASKOFF, R. (1998): *Les littoraux. Impact des aménagement sur leur évolution*; Armand Colin, París, 260 pp.

PASKOFF, R. y OUESLATI, A. (1991): Modifications et coastal conditions in the gulf of Gabes (Southern Tunisia) since classical antiquity; *Zeitschrift für Geomorphologie*, 81: 149-162.

PEDRAZA, J. (1996): *Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones*; Ed. Rueda, Madrid, 413 pp.

PEÑA, J.L.; PELLICER, F.; CHUECA, J. y JULIÁN, A. (1997): Leyenda para mapas geomorfológicos a escalas 1:25.000/1:50.000; En: PEÑA, J.L. (Ed): *Cartografía geomorfológica básica y aplicada*, Geoforma, Logroño.

PÉREZ-CHACÓN, E. (1995): Ciencia del paisaje y planes de ordenación territorial; *Ponencias II Congreso de Ciencia del Paisaje*: 31-58.

PÉREZ-CHACÓN, E. (1999): Líneas metodológicas en los estudios de paisaje; *Actas de Ponencias del III Congreso de Ciencia del Paisaje y Turismo*, III: 65-102.

PÉREZ-CHACÓN, E.; RIBAS, J. y BOVET, M.T. (1995): A classification of landscape dynamics applied to land planning; *Abstracts Congress of the International Association for Landscape Ecology*, (s/n).

PÉREZ, F. y MANGAS, J. (1993): Origen y evolución geológica de la barra de las canteras (Las Palmas de Gran Canaria); *Vector Plus*, 1: 4-14.

PINILLA, C. (1995): *Elementos de Teledetección*; Ra-Ma, 313 pp.

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. y RODRÍGUEZ, R. (1993): *Laboratori d'edafologia*; Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, 193 pp.

PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. y ROQUERO, C. (1994): *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*; Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 807 pp.

PYE, K. (1983): Coastal dunes; *Progress in Physical Geography*, 7: 531-557.

PYE, K. y TSOAR, H. (1990): *Aeolian sand and sand deposits*; Unwin Hyman, London, 396 pp.

REINECK-ISINGH, H. (1980): *Depositional sedimentary environment*; S. Pringer-Verlag, Heidelberg, 549 pp.

RICE, M.A.; McEWAN, I.K. y MULLINS, C.E. (1999): A conceptual model of wind erosion of soil surfaces by saltating particles; *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 383-392.

RICE, M.A. y McEWAN, I.K. (2001): Crust strength: a wind tunnel study of the effect of impact by saltating particles on cohesive soil surfaces; *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 721-733.

RICHARDS, L.A. (Ed.) (1973): *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*; Ed. Limusa, México, 172 pp.

RODRÍGUEZ, A.; SILJESTRÖM, P.; CLEMENTE, L.; RODRÍGUEZ, J. y MORENO, A. (1995): Caracterización de las pautas geomorfológicas de la flecha litoral de Doñana; *Revista de Teledetección*, 5: 28-32.

ROSELLÓ, V. y FUMANAL, M. (1999): Climbing dunes and interbedded rubbled fans. Quaternary patterns of Serra Gelada (Spanish mediterranean littoral); *Z. Geomorph. N.E.*, 43 (2): 235-254.

SÁNCHEZ, J. (1975): *Características y distribución de los suelos de la isla de Gran Canaria*; Tesis Doctoral, Universidad de La Laguna (Inédita).

SÁNCHEZ, J. (Dir.); RÍOS, C. (Coord.); PÉREZ-CHACÓN, E.; SUÁREZ, C. *et alii* (1995): *Cartografía Geocientífica del potencial del medio natural de Gran Canaria*; Cabildo Insular de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, 165 pp. (Tomo memoria) y 7 mapas (Tomo Cartografía).

SANTANA, A. (en prensa): Consideraciones en torno al medio natural canario anterior a la conquista; *Eres*, vol. 11.

SANTANA, A. y PÉREZ-CHACÓN, E. (1991): Sociedad y medio: aproximación a las formas históricas de uso del territorio en Gran Canaria; *VIII Coloquio de Historia Canario-Americana*, I: 485-505.

SAUERMANN, G.; ROGNON, P.; POLIAKOV, A. y HERRMANN, H.J. (2000): The shape of the barchan dunes of Southern Morocco; *Geomorphology*, 36: 47-62.

SAYLES, R.W. (1931): Bermuda during the ice age; *Proceeding of the America Academy of Arts and Science*, 66: 381-467.

SOLER, E. (1996): *Seguimiento del estado actual del Charco de Maspalomas, Gran Canaria. Período 1996-1997*. Informe para la Viceconsejería de Medio Ambiente del Gobierno de Canarias (Inédito).

SPOSITO, G. (1989): *The chemistry of soils*; Oxford University Press, Oxford, 277 pp.

SUÁREZ, C. y HERNÁNDEZ, L. (1998a): Application of air-transported multispectral sensors for the study of protected areas. An example of the Special Nature Reserve “Dunas de Maspalomas” (Gran Canaria, Canary Islands); *Bol. Mus. Mun. Funchal*, Sup. 5: 349-361.

SUÁREZ, C. y HERNÁNDEZ, L. (1998b): Impactos ambientales provocados por los equipamientos turísticos en los ecosistemas dunares; *Medio Ambiente Canarias*, 7: 16-18.

SUNDING, P. (1972): *The vegetation of Gran Canaria*; Skr. Norske Vidensk. Akad., Oslo. I. Mate.-Naturv. Kl., Suplement 29.

TARBUCK, E. y LUTGENS, F. (2000): *Ciencias de la tierra*, Prentice Hall, Madrid, 563 pp.

THOMAS, D. (1989): Aeolian sand deposits; En: THOMAS, D. (Ed.): *The work of the wind*; John Wiley and sons, New York: 232-261.

THOMAS, D. (1999): Coastal and continental dune management into the twenty-first century; En: GOUDIE, A.S.; LIVINGSTONE, I. y STOKES, S. (Eds.): *Aeolian environments, sediments and landforms*; John Wiley and sons, London: 105-127.

TORRES, F. (1999): Elementos para la ordenación del paisaje litoral; *XVI Congreso de la A.G.E.*: 729-736.

TRIPLET, J.P. y ROCHE, G. (1977): *Météorologie générale*; École Nationale de la Météorologie, París, 317 pp.

TRUJILLO, O. (1996): La avifauna de la Charca de Maspalomas; *Medio Ambiente Canarias*, 2: 15-17.

TRUJILLO, O. (1998): La Charca de Maspalomas: recuperación de un ambiente acuático en Canarias; *Revista de la Sociedad Española de Ornitología*, 101: 40-42.

VALLEJO, I.; SÁNCHEZ, E. y OJEDA, J. (2000): Transformaciones territoriales y de la dinámica litoral en la bahía de Algeciras: aplicaciones de los SIG y la Teledetección; En: AGUADO, I. y GÓMEZ, M. (Eds.): *Tecnologías Geográficas para el Desarrollo Sostenible* (CD-ROM), Departamento de Geografía de la Universidad de Alcalá de Henares, Madrid, (s/n).

VAN BOXEL, J.H.; ARENS, S.M. y VAN DIJK, P.M. (1999): Aeolian processes across tranverse dunes. I: Modelling the air flow; *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 255-270.

VAN DIJK, P.M.; ARENS, S.M. y VAN BOXEL, J.H. (1999): Aeolian processes across tranverse dunes. II: Modelling the sediment transport and profile development; *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 319-333.

WHITE, K.; GOUDIE, A.; PARKER, A. y AL-FARRAJ, A. (2001): Mapping the geochemistry of the Northern Rub'Al Khali using multispectral remote sensing techniques; *Earth Surface Processes and Landforms*, 26: 735-748.

WILSON, J.B. y SYKES, M.T. (1999): Is zonation on coastal sand dunes determined primarily by sand burial or by salt spray? A test in New Zealand dunes; *Ecology letters*, 2 (4): 233-236.

YANES, A. (1988): Las costas; En: VV.AA.: *Geografía de Canarias*, Editorial Interinsular Canaria, Tomo I: 143-156.

ZAZO, C. y GOY, J.L. (2000): Cambios eustáticos y climáticos durante el cuaternario. Una síntesis sobre su registro en los territorios insulares del sur y sureste peninsular, Islas Canarias y Baleares (España); En: ANDRÉS, J.R. y GRACIA, F.S. (Eds.): *Geomorfología Litoral. Procesos activos*, Monografías de la S.E.G, 7, Madrid: 187-206.

ZAZO, C.; GOY, J.L.; HILLAIRE-MARCEL, C.; GILLOT, P.Y.; SOLER, V.; GONZALEZ, J.A.; DABRIO, C. y GHALEB, B. (en prensa): Raised marine sequences of Lanzarote and Fuerteventura revisited- a reappraisal of relative sea-level changes and vertical movements in the eastern Canary Islands during the Quaternary; *Quaternary Science Review*.

ANEXO:
CATÁLOGO DE ESPECIES VEGETALES

ASTERACEAE

- *Launaea arborescens* Murb. in Lunds Univ. Arsskrift. n. s. xix. No. 1, 65 (1923).

Syn.: *Zollikoferia arborescens*

Launaea arborescens (Batt.) Murb.

Ecología: la espectacular progresión de esta especie dentro de las dunas ha ido pareja a la paralización del sistema dunar móvil del interior. Hoy en día conforma poblaciones exclusivas en algunas hoyetas y, en otras, es partícipe de matorrales muy densos, a veces inextricables. Podemos observarla en todas las situaciones y biotipos, desde algunos ejemplares con porte arbustivo y óptimo desarrollo (lo que le permite dar nombre a algunos lugares, como ocurre en la hoya de Las Aulagas) hasta otros con forma de pequeños “bonsais”, mordisqueados por los conejos. Se desarrolla también en algunos de los frentes de dunas móviles, cuando éstos avanzan sobre la terraza sedimentaria Erbanense. Sus flores son alimento de lagartos, que también suelen utilizarlas como atalayas.

Referencias bibliográficas: Esteve (1968), al hablar de la Clase *Ammophiletea* en las Canarias Orientales, hace referencia a la presencia de un “matorral de *Tamarix* y *Launaea arborescens*” en las Dunas de Maspalomas. También la incorpora como partícipe de las poblaciones de *Traganum moquinii* de Playa del Inglés, con valores de representación de 1.1. Curiosamente, en la actualidad, esta especie ya no se encuentra en esta situación, posiblemente imposibilitada en su desarrollo por la explotación turística de esta playa. Por último, no la cita como partícipe de su asociación *Schyzogino-Juncetum acuti* de las marismas de Maspalomas.

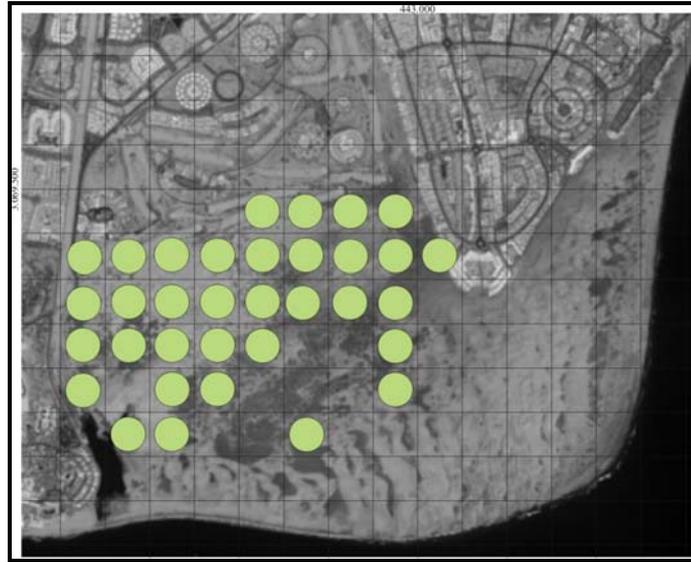


Figura A.1. Distribución de *Launaea arborescens*

- *Schizogyne glaberrima* DC., Prod. 5: 473 (1836)

Syn.: *Schizogyne sericea* Schultz Bip. var. *glaberrima* Webb et Berth.

Schizogyne sericea Cass. ssp. *glaberrima* (Webb et Berth) Rivas Goday et Esteve-Chueca

Ecología: arbusto halófito y nitrófilo, con olor muy agradable en floración, abundante y atractivo de insectos, que crece abundantemente y participa en los matorrales de las hoyetas con sustratos arcillosos y salobres, asociado a la presencia de aguas freáticas cercanas. También se observa en los perfiles de algunas dunas vegetadas, creciendo a media ladera. Participa en la recolonización de la trasera de la Charca de Maspalomas, y también se comporta como neocolonizadora en los bordes de la pista levantada y en las zonas removidas en torno al antiguo Hotel Dunas.

Referencias bibliográficas: Rivas-Goday y Esteve-Chueca (1965) la consideran característica de la *Juncetea maritimi canaria*, sustituyendo en los juncales salados canarienses a la *Inula crithmoides* L. mediterránea, con la que tiene hábito semejante. Con

base en un inventario realizado en las ramblas del barranco de Fataga, cerca de Maspalomas, lo hacen partícipe de una diferencial variante halófila de su tabaibal de ramblas (asociación *Rubio-Euphorbietum canariense subass. plocametosum pendulae var. halofila*).

Esteve (1968) la da como característica de su asociación *Schizogyne-Juncetum acuti*, extendida sobre las arcillas salobres de las marismas de Maspalomas. Sin embargo, reconoce que el tipo de la especie es de “roquedo y pedregal litoral o incluso algo interior, donde acompaña a las tabaibas, ceropegias y cardones.”

Para Sunding (1972) la especie es halófila estricta.

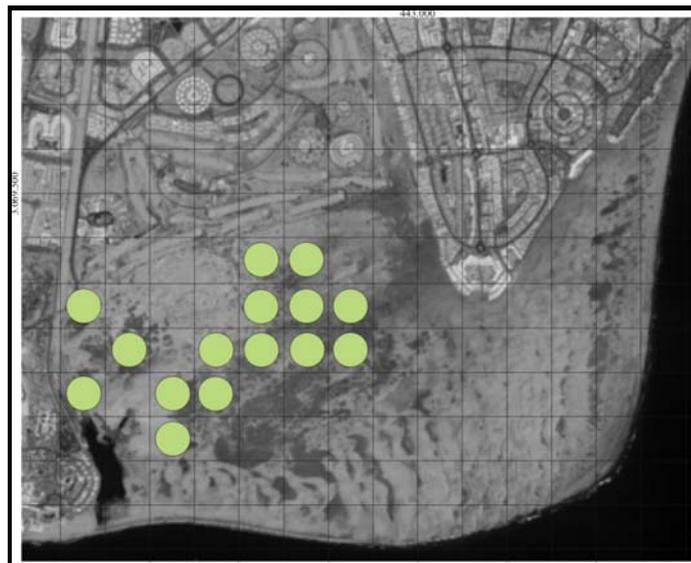


Figura A.2. Distribución de *Schizogyne glaberrima*

BORAGINACEAE

- *Heliotropium bacciferum* subsp. *erosum* (Lehmann) H.Riedl in Linz. Biol. Beitr., 17 (2): 299 (1985)

Syn.: *Heliotropium erosum* Lehm. in Neue Sch. Naturf. Ges. Halle, A. II. (1817) 15.

Heliotropium bacciferum var. *erosum* (Lehm.) A.M.H.El-Hadidy

Heliotropium canariense Willd.ex Roem. & Schult. Syst. iv. 728. (Inss. Teneriffe)

Ecología: caméfito de porte muy variable según las condiciones de sustrato, muy bien desarrollados sobre los materiales de las terrazas aluviales o las hoyetas interdunares del sistema de dunas fijas y de porte mas reducido sobre las arenas. Cuando está en floración, sirve de apoyo a numerosos insectos y lepidópteros, que liban sus flores.

Referencias bibliográficas: citada por Esteve (1968) como *H. erosum* y, posteriormente, (1983) como *H. Ramosissimum*, siendo así como la recoge la Checklist de Hansen y Sunding (1985) para la especie presente tanto en Canarias como en Cabo Verde.

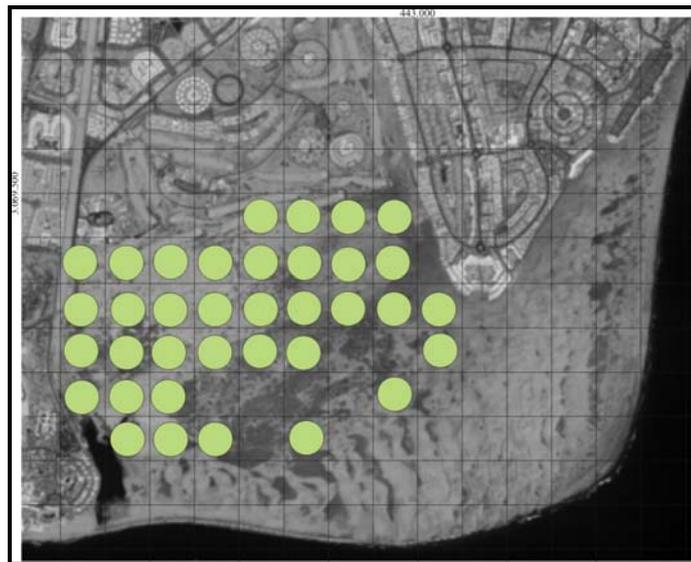


Figura A.3. Distribución de *Heliotropium ramisissimum*

CHENOPODIACEAE

- *Suaeda vermiculata* Forssk.ex J.F.Gmelin ,Onomat. Bot. Compl., 8: 798 (1776).

Syn.: *Suaeda mollis* Del.

Ecología: la evolución de este pequeño arbusto suculento en el interior de las Dunas de Maspalomas ha sido progresiva, y paralela a la pérdida de arena del sistema dunar. Así, si en los años 60 estaba localizada únicamente en las hoyetas del interior del sistema, asociada a los suelos carbonatados de las mismas, en la medida que han ido resurgiendo los antiguos niveles de carbonatos de la plataforma de calcarenitas del sistema, esta planta ha ido extendiéndose, conformando comunidades cuasi monoespecíficas en el interior del sistema dunar.

Coincidimos con Fernández y Santos (1983) al considerar su ecología más vinculada al carácter del sustrato y a su concentración en carbonatos, que a su cercanía al litoral. Actualmente, se desarrolla en el interior del sistema dunar, aunque con una vigorosidad marcada por la intermitencia de las lluvias, y se presenta como una especie en franca progresión, con abundante germinación y desarrollo de plántulas.

También se comporta como neocolonizadora en los sustratos removidos por obras de la cercanía al cauce del barranco de Maspalomas. Así, se establece en los terrenos removidos del entorno del antiguo Hotel Dunas y de las instalaciones del Safari de dromedarios.

Referencias bibliográficas: Esteve (1968) la ubica como partícipe de la asociación *Schizogyno-Juncetum acutii* y la considera como “especie de apetencias halófilas bien definidas”. Posteriormente, Sunding (1972) la ubica como partícipe fiel de su asociación *Chenoleo-Suaedetum vermiculatae*, sobre superficies estables arenosas o rocosas del litoral grancañario. Realiza varios inventarios al Oeste del sistema dunar, cerca del Faro de Maspalomas.

Fernández y Santos (1983) sin embargo la consideran “...una especie propia de *Pegano-Salsoletea*, caracterizando un matorral camefítico de “tableros”, sustrato muy rico en carbonatos que proceden de la disgregación del horizonte petrocálcico”.

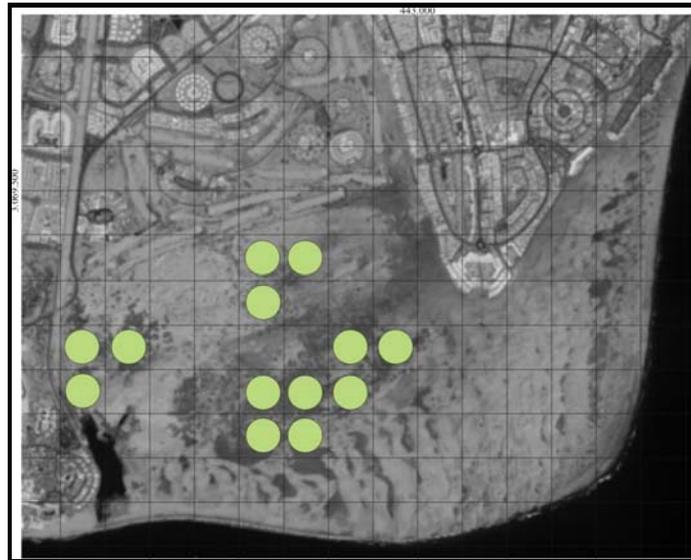


Figura A.4. Distribución de *Suaeda vermiculata*

- *Traganum moquini* Webb ex Moq. in DC. Prod. xA. II. 171.

Ecología: Arbusto nanofanerófito suculento, de biotipo circular, bien desarrollado con alturas superiores a los 2 metros, con varios metros de diámetro (hasta 40, según Sunding, 1972) en los ejemplares mas estables, que se extendían con mayor profusión en los años 60 sobre el borde litoral del sistema dunar, tanto de la Playa del Inglés como de la de Maspalomas.

En la actualidad está restringida casi en exclusiva a la playa del Inglés, si exceptuamos los moribundos ejemplares de la Cañada de La Penca, perdurando los viejos ejemplares pero con muy escaso potencial de regeneración dado el continuo pisoteo de los juveniles brinzales por los usuarios de la playa.

No se puede hablar hoy en día de una comunidad vegetal, siendo tan sólo poblaciones de balancón las que prosperan, muy deteriorados por el uso que de ellos hacen los bañistas, especialmente por la ocupación que hacen de su entorno (y de ellos mismos), así como por las acciones de micción a las que son expuestos.

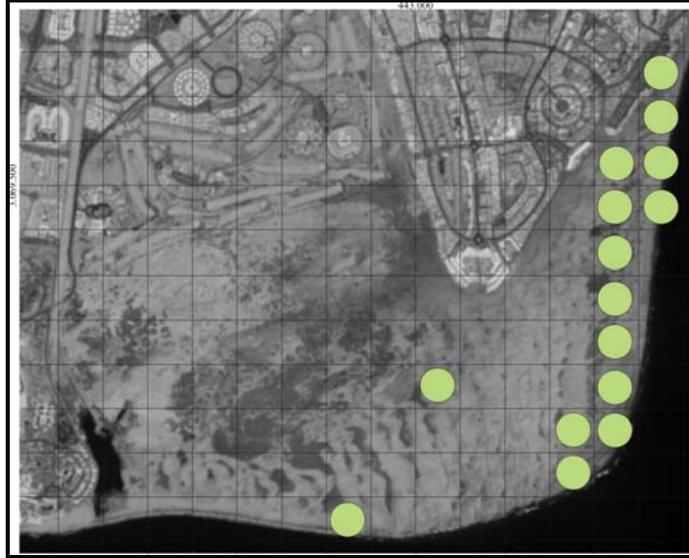


Figura A.5. Distribución de *Traganum moquinii*

FABACEAE

- *Ononis serrata* Forsk. , Fl. Aegypt. Arab. 131.

Ecología: caméfito muy extendido en las zona de dunas fijas, conformando verdaderas “praderas” estacionales después de buenos años de lluvia. Su porte varía en función del sustrato de base. Así, en las terrazas sedimentarias, crece con mayor profusión, siendo más escasa su presencia en las áreas donde discurren las arenas móviles.

Referencias bibliográficas: Sunding (1972) la incorpora como participe de su asociación *Euphorbio–Cyperetum kalli*, comunidad abierta sobre dunas. En esta comunidad, extensiva a los sistemas de arenas litorales, desde Las Palmas hasta Jinámar, y otros

lugares de la costa Este de Gran Canaria, es participante característico *Euphorbia paralias*, la cual no ha sido reportada de las Dunas de Maspalomas.

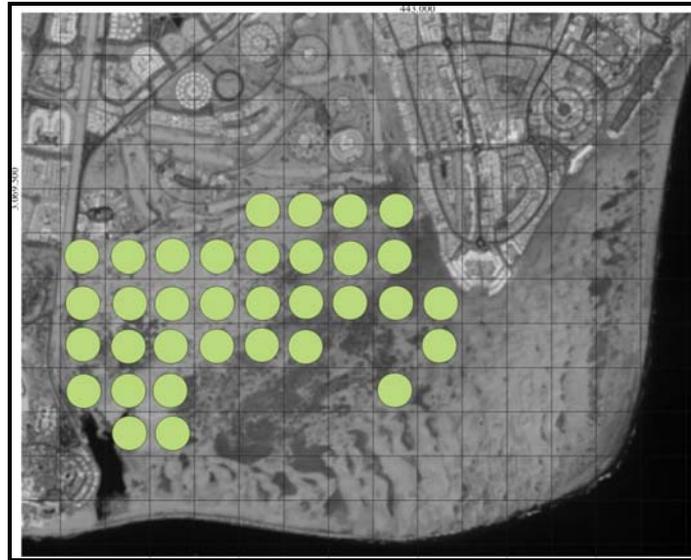


Figura A.6. Distribución de *Ononis serrata*

NEURADACEAE

- *Neurada procumbens* Linn. Sp. Pl. 441.

Ecología: pequeño caméfito, profusamente extendido por todas las dunas fijas. Su expansión va pareja al uso turístico de las dunas: habiendo sido introducida, posiblemente, por los dromedarios traídos de África para las tareas agrícolas, hoy en día son los propios turistas los que la dispersan, adosadas sus semillas espinosas a la suela de los calzados.

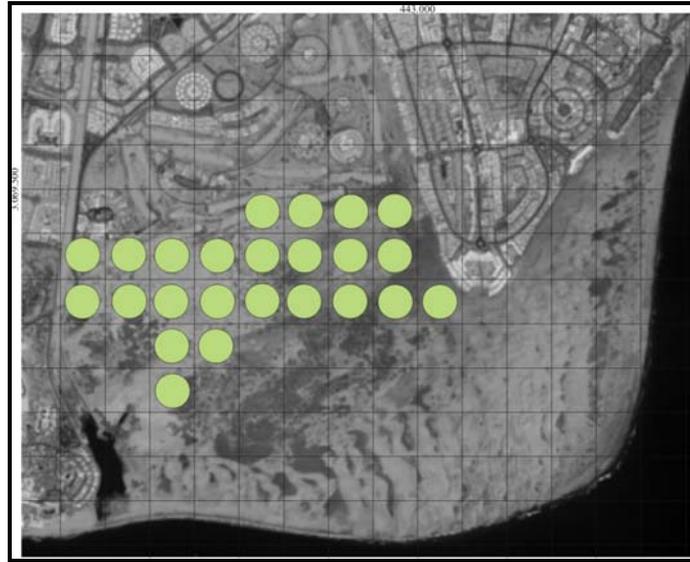


Figura A.7. Distribución de *Neurada procumbens*

RUBIACEAE

- *Plocama pendula* Ait. Hort. Kew. ed. I. i. 392.

Ecología: algunos “alineamientos” (sic. el doctorando) de esta especie dieron pie a interpretaciones muy fructíferas sobre la evolución geomorfológica e hidrogeológica del interior del sistema de dunas. Aparecen formando “hileras”, que posiblemente marcaron antiguos encharcamientos dentro del sistema dunar, y líneas de drenaje de paleocauces de barrancos reconducidos posteriormente por la actividad humana.

Estas disposiciones indican, además, el papel que desempeñaron en la dinámica sedimentaria eólica, cuando ésta aún se producía en el interior del sistema, por cuanto se presentan estabilizando dunas vegetadas con la misma disposición lineal que los ejemplares vegetales. Dada esta disposición, se deduce que su estrategia, en caso de dunas móviles, es el crecimiento rápido hasta superar la cresta de la duna, y su posterior reproducción por hijuelos, siguiendo la dirección de avance de la duna.

Conforman pequeñas poblaciones que, probablemente, sean fragmentos de antiguas extensiones de esta especie sobre las ramblas del barranco de Fataga, cerca de Maspalomas. Los ejemplares presentes hincan profusamente sus raíces en el sistema dunar y quizás estén vinculados a materiales aluviales en profundidad. Su aspecto en algunos casos es bastante añejo.

Siguen cumpliendo un importante papel ecológico, dado que en época de fructificación son lugar de concentración de varias especies animales, como lagartos canariones o mirlos, especies para las que, probablemente, juegue un importante papel en sus dietas.

Referencias bibliográficas: Su importante papel en la caracterización de la vegetación de las ramblas de los cauces grancanarios lo refleja el hecho de que Rivas Goday y Esteve (1965) le concediesen un papel predominante en la definición de una subasociación *plocametosum pendulae* de los tabaibales de ramblas (*As. Rubio-Euphorbietum canariense*). Uno de los inventarios de la misma se recoge en las ramblas del cauce del barranco de Fataga, cerca de Maspalomas, a 80 msnm.

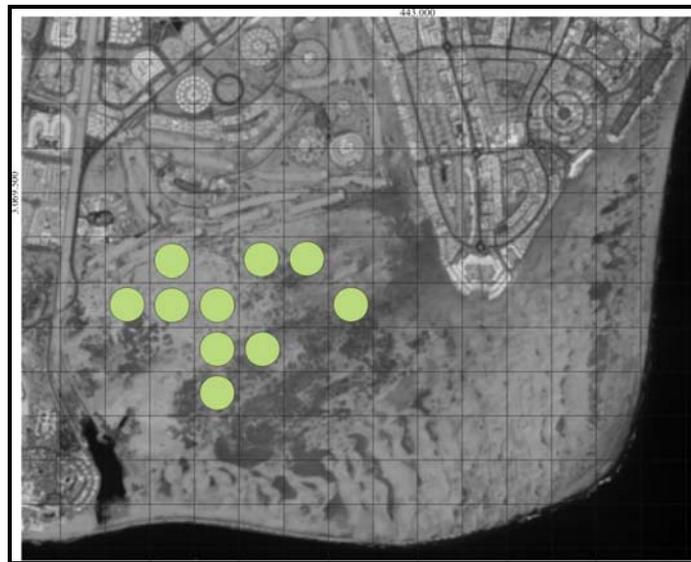


Figura A.8. Distribución de *Plocama pendula*

SOLANACEAE

- *Lycium intricatum* Boiss., Elench. 66.

Ecología: rodales de este pequeño arbusto espinoso se localizan en el interior del sistema de dunas fijas, en una antigua hoyeta con abundantes limos y arcillas, quizás un área de descanso del ganado que pastoreaba en las dunas hasta los años 60. Las huellas de sendas en este lugar, en un estudio de detalle de la foto aérea a escala 1: 5.000, confirman la interpretación inicial realizada en su día en el campo por la codirectora de esta Tesis Doctoral.

Ejemplares muy desarrollados, con hojas no suculentas, sino herbáceo-glaucas, caducifolias, acercan una parte de esta población a las características de *Lycium europaeum*, pero este dato está aún pendiente de confirmación. Varios ejemplares con esta morfología se han encontrado en diferentes puntos del sistema de dunas fijas.

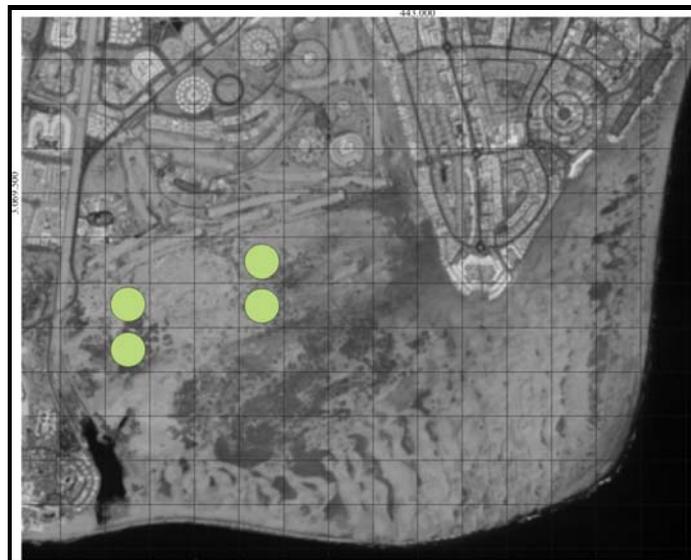


Figura A.9. Distribución de *Lycium intricatum*

- *Nicotiana glauca* R.Grah. , Edinb. N. Phil. Journ. (Apr. -une 1828) 175; et in Bot. Mag. t. 2837.

Ecología: arbusto introducido, presente en muchos lugares de las dunas, en algunos casos sobre la terraza sedimentaria Erbarenses, sometidas al paso a través de ellas de las dunas móviles. En otros casos las observamos entre las aulagas y los tarajales del interior del sistema de dunas fijas. También está presente en las zonas ruderalizadas de la trasera de la charca y del entorno del safari de dromedarios.

Referencias bibliográficas: citada desde 1968 por Esteve como abundante en las ramblas pedregosas del cauce del barranco de Maspalomas.

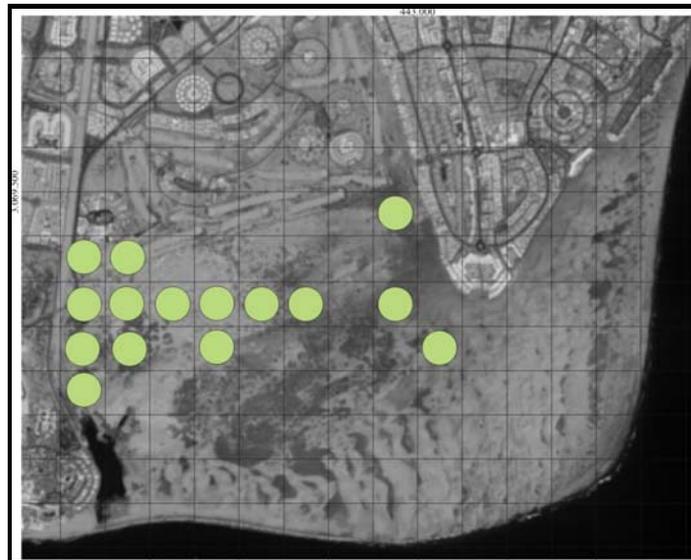


Figura A.10. Distribución de *Nicotiana glauca*

TAMARICACEAE

- *Tamarix canariensis* Willd., Abh. Akad. Berl. 1812-13, 79 (1816)

Syn.: *T. gallica* L. var. *canariensis* Willd. (en inv. Esteve 1968)

T. africana Poiret

Ecología: varias generaciones de tarajales pueden ser detectados en las dunas. Una de ellas, la que parece más antigua, alcanza portes de 12 metros en algunas hoyetas, con gruesos y abigarrados troncos, alimentados por una capa freática cercana, que a veces aflora en superficie. De esta generación parecen ser los que colonizaron antiguas dunas móviles, quedando fijadas por una red de brazos (raíces aéreas). En su desarrollo, los tarajales han crecido sobre los montículos de arena retenidos, generando, desde el punto de vista de la geomorfología, “lomas vegetadas”. La gruesa capa de humus vegetal asociado, es nicho de numerosas especies de insectos.

A raíz de la construcción de la urbanización sobre la terraza sedimentaria del Inglés, el sistema de dunas móviles ha ido mermando su superficie, dando pie al desarrollo de nuevos rodales de tarajales colonizadores, caracterizados por troncos monopódicos, sin ramificaciones desde la base, que han conformado bosquetes densos en algunos lugares del sistema, y siguen avanzando, recuperando alguno de sus antiguos ambientes.

Uno de estos espacios para la recolonización lo constituye la rambla cementada del cauce de Maspalomas. En la foto aérea de los años 60 se observa un extenso y abigarrado meandro con múltiples ramificaciones ocupadas principalmente por un “matorral de tarajales y aulagas” (Esteve, 1968) que fue totalmente arrasado, en la medida que fueron avanzando las urbanizaciones y se procedió a la canalización del cauce del barranco.

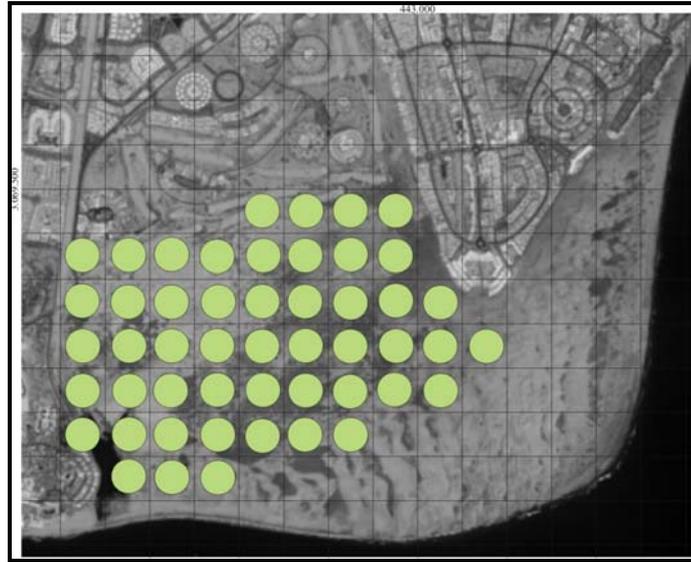


Figura A.11. Distribución de *Tamarix canariensis*

ZYGOPHYLLACEAE

- *Zygophyllum fontanesii* Webb & Berth. , Phyt. Canar. i. 17.

Ecología: la única referencia que teníamos de esta especie, hasta hace dos años, lo constituían un par de ejemplares bastante decrepitos, que se localizaban en el interior del sistema dunar, en la zona de dunas fijas. En los últimos años se ha ido consolidando un matorral de esta especie en la llanura de deflación (salitrosa) que se localiza en las cercanías de la playa de Maspalomas. Este crecimiento se ha producido de una forma tan rápida y efectiva, que sólo tenemos un adjetivo para denominarlo: espectacular.

Referencias bibliográficas: ni Esteve ni Sunding reflejan en sus inventarios la presencia de esta especie, por lo que, posiblemente, nos encontremos ante una colonización reciente de este hábitat.

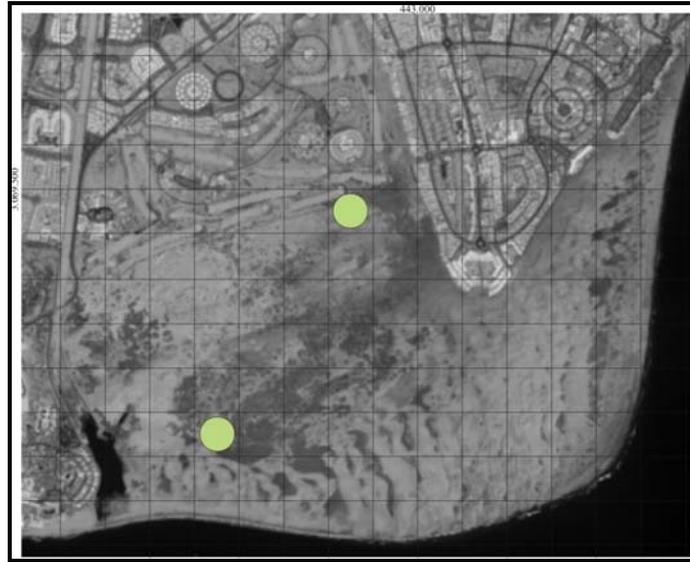


Figura A.12. Distribución de *Zygothymus fontanesii*

ARECACEAE

- *Phoenix canariensis* Hort.ex Chabaud , La Provence Agric. n. 19. (Oct. 1882) 293, ff. 66-68.

Syn.: *Phoenix dactylifera* var. *jubae* Webb et Berth

Phoenix jubae (Webb & Berth) Christ

Ecología: en la zona del oasis de Maspalomas existe una exuberante y estable población de palmeras canarias con mezcla de palmeras datileras. Dentro del sistema dunar, en un análisis detallado de las fotos aéreas de los años 60, a escala 1:5000, no observamos ni un solo ejemplar de palmera dentro de ellas. Quizás la dinámica del sistema dunar, muy activo y con abundante movilidad, no permitía su establecimiento definitivo. Sin embargo, en el momento actual, identificamos entre 15 y 20 ejemplares. Algunos de ellos, con muy buen estado vegetativo, se han establecido en las hoyetas entre el sistema de dunas fijas y las móviles, allí donde se han detectado aguas someras o casi someras.

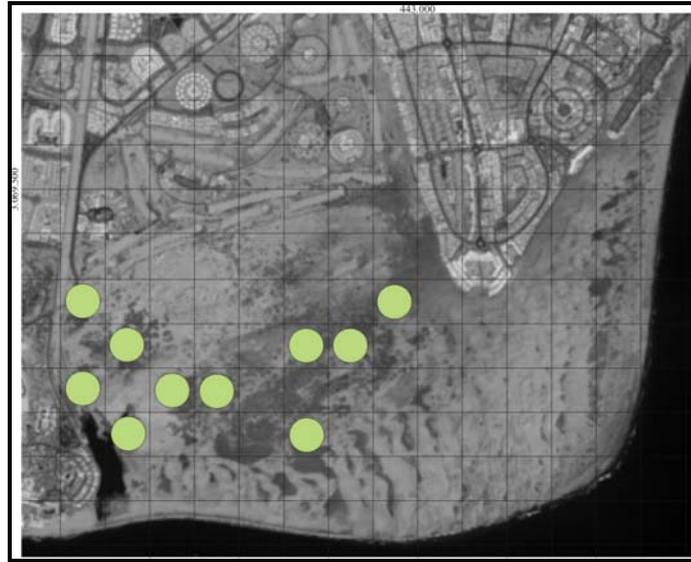


Figura A.13. Distribución de *Phoenix canariensis*

CYPERACEAE

- *Cyperus capitatus* Vand., Fasc. Pl. 5 (1771)

Syn.: *Cyperus kalli* (Forsk.) Murbeck.

Ecología: esta pequeña juncia se extiende vigorosamente por la zona de dunas fijas, participando activamente en el proceso de estabilización de las arenas, conformando, con sus numerosas raíces, verdaderas marañas a escasos centímetros del nivel arenoso. No prospera en las dunas móviles.

Referencias bibliográficas: Sunding (1972) la considera como característica de la asociación *Euphorbio-Cyperetum kalli*.

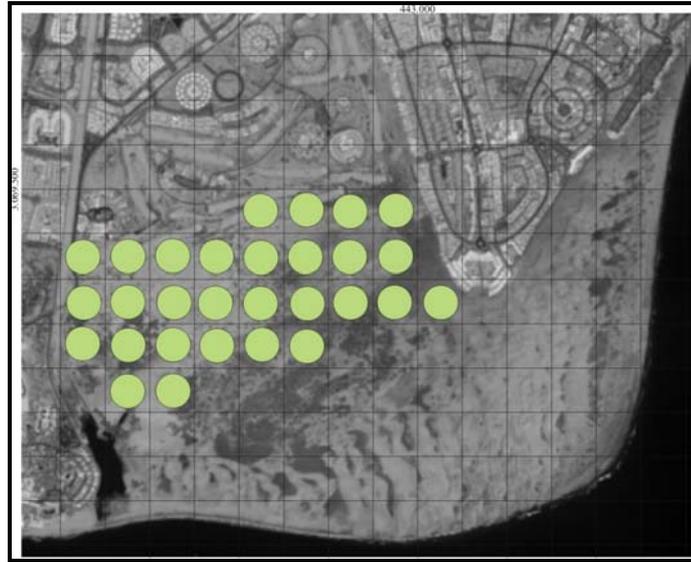


Figura A.14. Distribución de *Cyperus kalli*

- *Cyperus laevigatus* L., Mantissa Alt. 179 (1771) ssp. *laevigatus*

Syn.: según IPNI es un basiónimo de *Pycneus laevigatus* Linnaea 10 (1836) 130

Ecología: conforma verdaderas “praderas” en los espacios interdunares exteriores al conjunto de paleobarras, donde las arenas están continuamente humedecidas por el agua marina que accede, por capilaridad, desde la base, y que conforma costras salinas en superficie, al evaporarse. Hemos detectado dos puntos donde se extienden, resistiendo el paso de las dunas móviles a su través: uno cercano a la charca de Maspalomas, en los espacios interdunares que se ubican tras el puesto de la Cruz Roja, y otro en la trasera de la cañada de la Penca, extendiéndose hasta las dunas en herradura que se localizan frente al Hotel Riu Palace.

Referencias bibliográficas: Sunding (1972) describe la asociación *Cyperetum laevigati* para recoger estas peculiares poblaciones presente en las Dunas de Maspalomas.

Esta especie, de distribución cosmopolita, es usada aún hoy en día en Hawaii (conocida como “malakoa”) para la construcción de tejidos para los aborígenes. Quizás en Canarias, y concretamente en Maspalomas, también sirvió de base para la fabricación de tejidos por parte de los aborígenes canarios que vivían en esta zona.

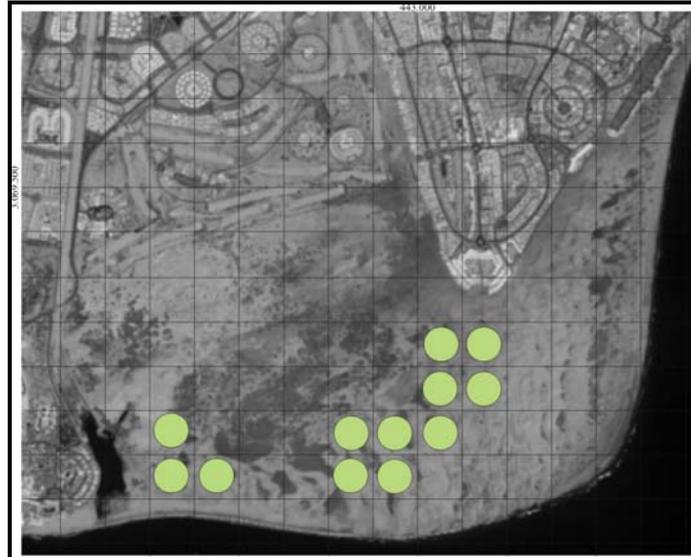


Figura A.15. Distribución de *Cyperus laevigatus*

JUNCACEAE

- *Juncus acutus* L., Sp. Pl. 325 (1753)

Ecología: este agudo hemiscriptófito, cuyos tallos punzantes pueden alcanzar hasta 1,5 m. de largo, se desarrolla espléndidamente en algunas de las hoyetas más pobladas de las dunas de Maspalomas. Es un excelente bioindicador para localizar niveles freáticos subalveos, siendo uno de los que, durante la redacción del Plan Director de la Reserva, nos llevó a detectar la presencia de agua a menos de 80 cm. en hoyetas del interior de las dunas (Suarez y Hernandez , 1998a).

Su distribución actual sirve para definir antiguas paleolagunas o paleocharcas de mayor distribución que las actuales, y lugares de encharcamientos temporales, por encontrar sustratos impermeables en su base.

Referencias bibliográficas: Esteve Chueca, uno de los pocos botánicos que conoció el oasis de Maspalomas en su máximo esplendor florístico, describe los juncales que ocupaban una amplia zona del oasis, describiendo la asociación *Schyzogyno-Juncetum acutii* cuyo locus original fue destruido por la urbanización turística.

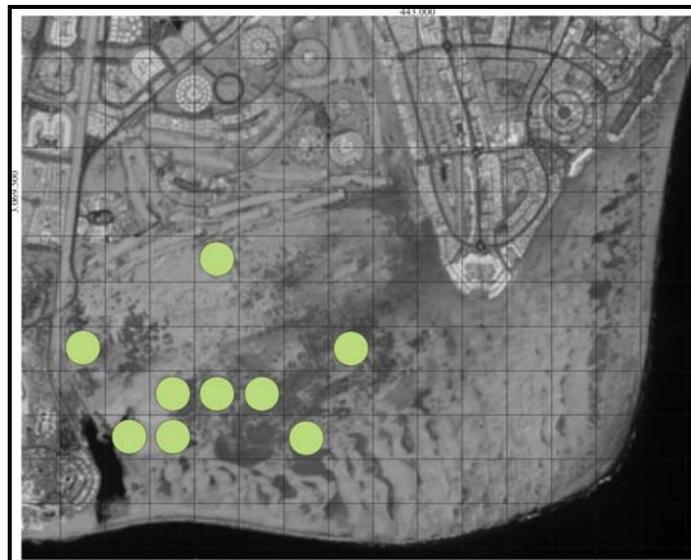


Figura A.16. Distribución de *Juncus acutus*

POACEAE

- *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steudel, Nomencl. Bot. Ed. 2, 2: 324 (1841).

Syn.: *P. communis* Trin. var. *isiacus* (Del.) Coss. et Durr. (en inv. Esteve 1968)

Ecología: los carrizales conforman densas unidades estacionales, sometidas a pudriciones esporádicas en la trasera de la charca de Maspalomas, hundiendo sus rizomas en las aguas estancadas de esta laguna litoral. De igual modo se observan en la charca de los

Camellos, y colonizan rápidamente las charcas recreadas en el proceso de recuperación del antiguo dominio lacustre.

En el pasado, a partir del análisis de la fotografías aéreas del año 48, algunas de ellas oblicuas, podemos inferir la presencia de dos brazos de carrizales en la trasera de la Charca, partiendo del nacimiento que afloraba en la base del “árbol bonito” y que, hoy en día, a pesar de estar sepultado por escombros, sigue manando, aportando el agua que quizás sirvió a Cristobal Colón en su cuarto viaje al Nuevo Mundo (Benítez Padilla, 1959).

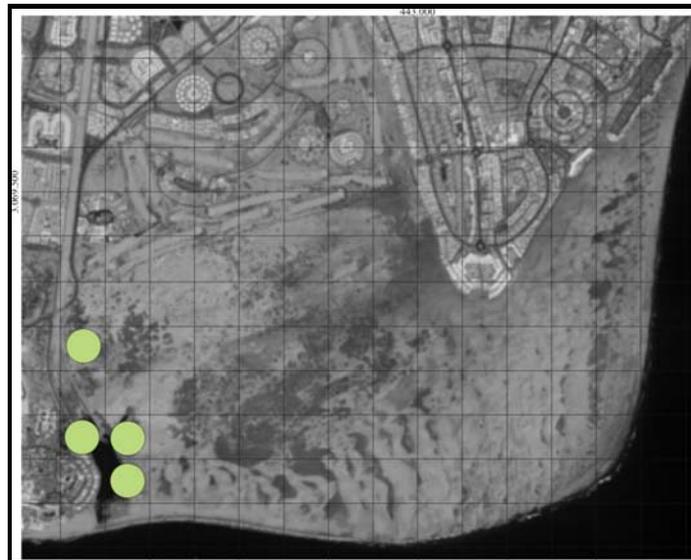


Figura A.17. Distribución de *Phragmites australis*

- *Stipagrostis ciliata* (Desf.) de Winter , Kirkia, A. 133 (1963).

Syn.: *Aristida ciliata*

Ecología: gramínea perenne que observamos en el interior del sistema de dunas fijas, ramoneadas por conejos.

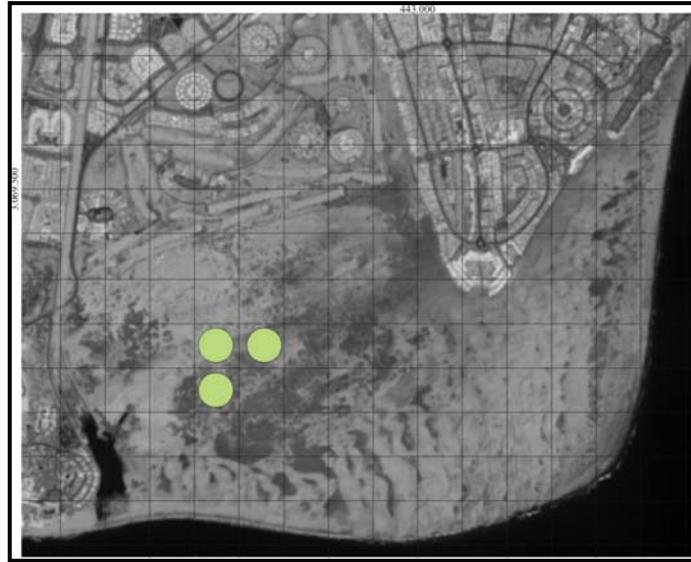


Figura A.18. Distribución de *Stipagrostis ciliata*

TYPHACEAE

- *Typha domingensis* Pers. Syn. ii 532.

Syn.: *Typha domingensis* (Pers.) Steud

Ecología: este helófito hunde sus raíces en las zonas encharcadas de la trasera de la charca de Maspalomas, pero también en los suelos humedecidos de algunas de las hoyetas del interior del sistema dunar, indicando, con ello, el probable área máxima inundable en este peculiar sistema lacustre-dunar.

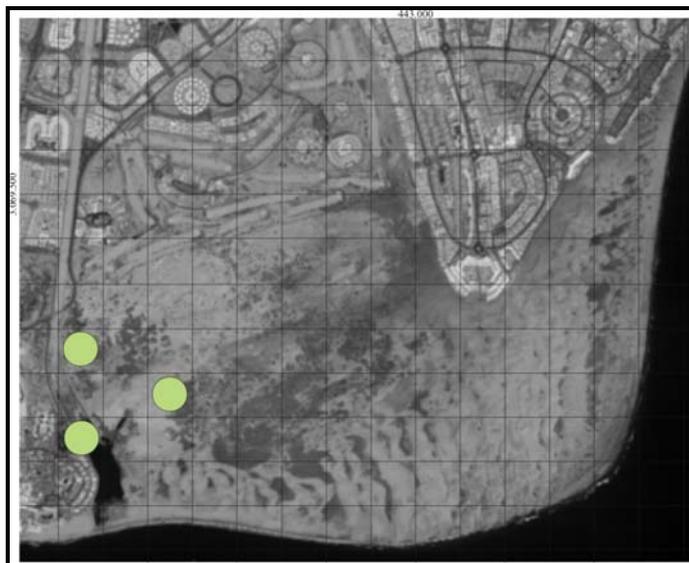


Figura A.19. Distribución de *Typha domingensis*