

RESÚMENES DE LAS CONFERENCIAS  
Y GUÍAS DE LAS EXCURSIONES



Noviembre 2006  
Las Palmas de Gran Canaria

Editado por:

J. Mangas Viñuela

A. Lomoschitz Mora-Figueroa

J Yepes Temiño



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA



**BIBLIOTECA**  
**SIMON BENITEZ PADILLA**



### ORGANIZACIÓN Y EDICIÓN

J. Mangas Viñuela, A. Lomoschitz Mora-Figueroa, J Yepes Temiño

### SECRETARÍA

José Evora Molina, Juan Bruno Pérez Santana

### PATROCINA

Área de Cultura del Cabildo de Gran Canaria

Consejo Insular de Aguas del Cabildo de Gran Canaria

### IMPRIME

Servicio de Reprografía de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

© Del texto: los autores

ISBN 84-7806-325-0

Depósito Legal GC 818-2006

### FICHA BIBLIOGRÁFICA

*III Jornadas Canarias de Geología. Resúmenes de las conferencias y guías de las excursiones* (Ed. J. Mangas Viñuela, A. Lomoschitz Mora-Figueroa, J Yepes Temiño. Servicio de Reprografía de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Las Palmas de Gran Canaria, 2006. ISBN: 84-7806-325-0. Depósito Legal: GC 818-2006. Materia: Geología, Ingeniería del Terreno. Formato: 296 x 210. Páginas: 223



**INDICE**

	pag.
<b>Conferencias</b>	
Crisis sismo-volcánica de Tenerife en 2004. Vigilancia volcánica del Instituto Geográfico Nacional en Canarias: situación actual y futura	3
Geomorfología eólica del sector NE de El Jable de Lanzarote: pasado y presente	21
Las rocas ornamentales de las Islas Canarias	38
Impacto del polvo sahariano en los suelos de Gran Canaria	59
Cartografía geomorfológica de la Zona Económica Exclusiva de las Islas Canarias	68
Modelo de transporte en Maspalomas deducido a partir del estudio de foraminíferos, Gran Canaria	91
Condicionantes de la modelación del flujo del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)	108
Problemas constructivos de túneles hidráulicos en terrenos expansivos canarios	126
Estudio de la expansividad en formaciones volcánicas	136
Los estudios geotécnicos en el Código Técnico de la Edificación (CTE)	157
Estudio Geotécnico para la cimentación de los nuevos Juzgados en Las Palmas de Gran Canaria	179
<b>Guías de las excursiones</b>	
Estudio del riesgo de desprendimientos y soluciones constructivas en Los Teques, T.M. de Mogán	190
Evolución reciente de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas	199

## Crisis sismo-volcánica de Tenerife en 2004. Vigilancia volcánica del Instituto Geográfico Nacional en Canarias: situación actual y futura

María José Blanco y Carmen López

Instituto Geográfico Nacional, La Marina 20, 38001-Santa Cruz de Tenerife. E-mail: mblanco@ign.es

### INTRODUCCIÓN

El Instituto Geográfico Nacional instaló en 1952 en Canarias la primera estación sísmica, y desde esa fecha ha ampliado y mejorado la red sísmica regional, primero con estaciones sísmicas analógicas con registro in situ, posteriormente con enlaces vía radio, continuando con enlaces telefónicos. Finalmente, a partir del año 2000, comienza la instalación de la red sísmica digital de banda ancha.



Figura 1: Red sísmica en Canarias del Instituto Geográfico Nacional operativa en abril de 2004.

En concreto en abril de 2004, la red que estaba operativa es la que se muestra en la Figura 1, con dos tipos de instrumentación complementarios:

- 7 estaciones de corto periodo, con transmisión en tiempo real vía telefónica mayoritariamente o radio.
- 6 estaciones de banda ancha, con transmisión vía satélite en tiempo real.

En la estación de corto periodo (CCAN) situada en la base de Montaña Guajara en la pared de Las Cañadas, a partir del 20 abril de 2004 comienza la detección de un incremento de la actividad sísmica, 25 eventos en 60 horas, que se pone en conocimiento de la Dirección General de Protección Civil.

Este incremento inicial de actividad (72 eventos localizados en 6 días), se producía en el interior de la isla de Tenerife, en el área de Icod de los Vinos. Tras ser comunicada al Comité Científico de Evaluación y Seguimiento de Fenómenos Volcánicos reunido el 30 de mayo, dan comienzo las tareas de vigilancia para un mejor conocimiento y caracterización de la actividad.

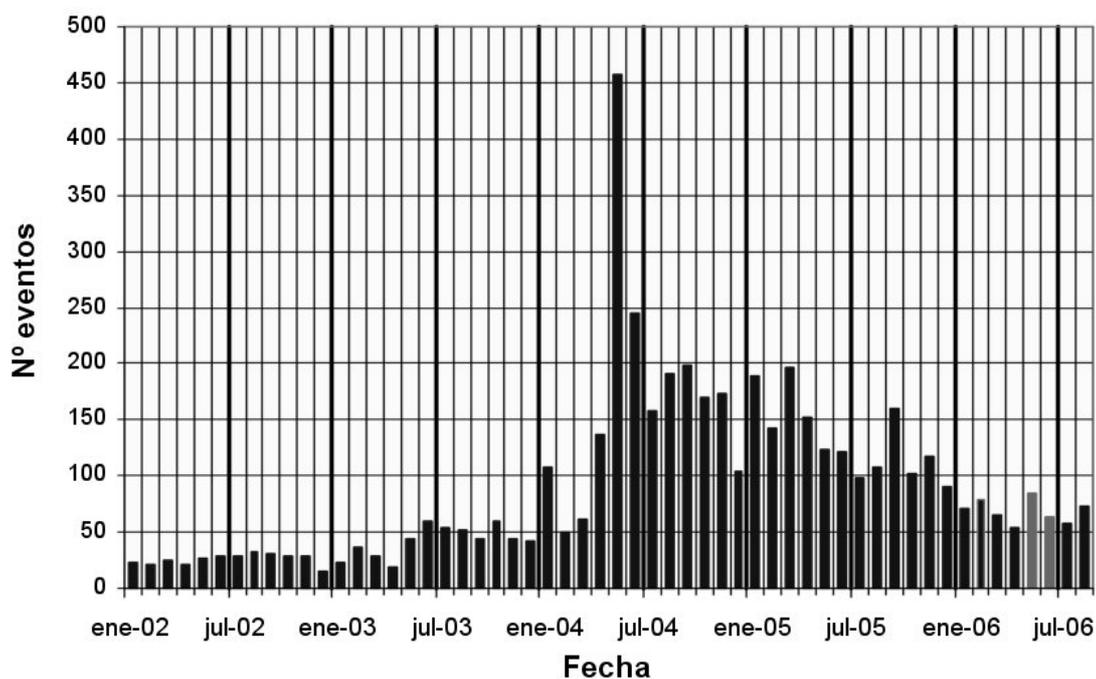


Figura 2: Histograma mensual de la sismicidad detectada en la estación sísmica CCAN en el periodo 01.01.2002 a 31.08.2006.

Para mejorar las localizaciones hipocentrales, el IGN instala en el entorno del área de actividad otras dos estaciones sísmicas de corto periodo con enlace telefónico (CICO en el entorno de Icod de los Vinos, CHIO cerca de Chío), y una estación de banda ancha vía satélite (CRAJ en Montaña Rajada dentro del Parque Nacional de Las Cañadas del Teide), así como varias estaciones sísmicas portátiles que eran trasladadas, a medida que cambiaba el área hipocentral.

Con esta configuración, se constató un incremento en la actividad sísmica detectada por la red, como se ve en la Figura 2 en la que mostramos el histograma correspondiente al número mensual de detecciones sísmicas (de eventos localizados y no localizados por la red) en la estación de CCAN, desde Enero de 2002 hasta finales de Agosto de 2006. Los niveles de actividad representados muestran la sismicidad registrada en una única y misma estación (CCAN, en las Cañadas del Teide) y por tanto, son independientes de los cambios en la configuración de la red sísmica y de su sensibilidad.

Como se puede observar en el histograma, la máxima actividad registrada ocurrió en el mes de mayo de 2004 (con más de 450 eventos mensuales) aunque ya desde los primeros meses del 2003 se comienza a superar el nivel base promedio del año anterior (nivel de background de unos 20 eventos mensuales). A partir de esta fecha, la actividad continúa disminuyendo, aunque todavía es aproximadamente unas tres veces mayor que el nivel promedio del año 2002 que nos sirve de referencia.

Para comparar la actividad sísmica detectada por la red antes y después de abril de 2004, mostramos los mapas de dichas localizaciones: uno desde el 01.01.2000 hasta el 31.03.2004 (Figura 3) y el otro desde el 01.04.2004 hasta 31.08.2006 (Figura 4), en el que aparece claramente una nueva zona sismogénica al sur de Icod de los Vinos, que no está presente como tal en los años anteriores.

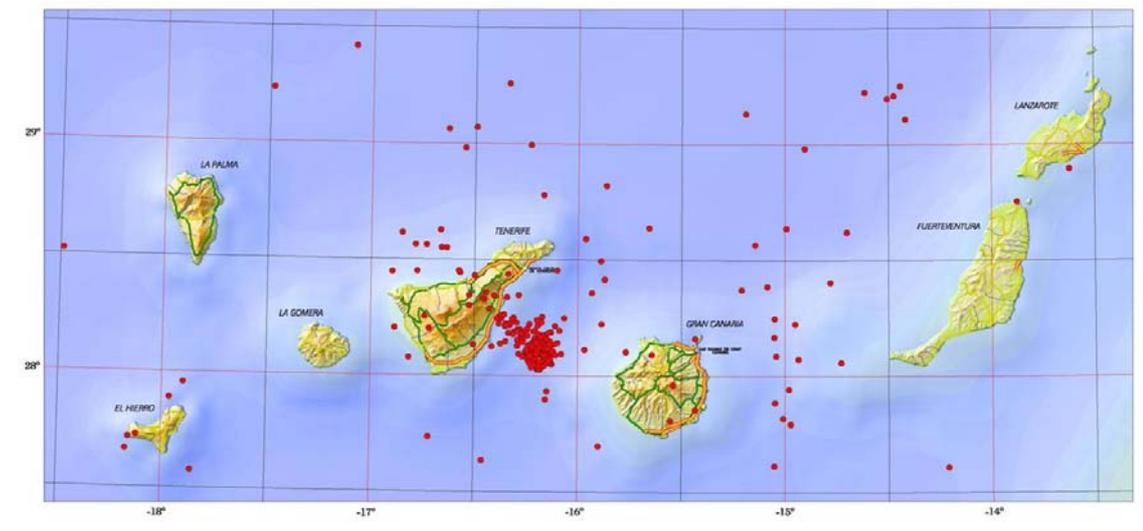


Figura 3: Sismicidad localizada por la red del IGN en el periodo 01.01.2000 a 31.03.2004.

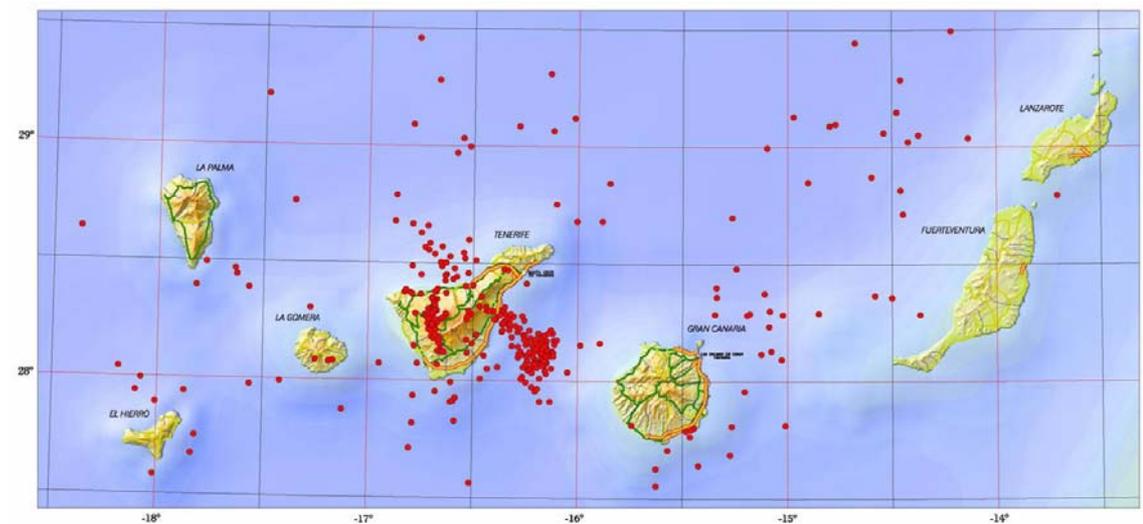


Figura 4: Sismicidad localizada por la red del IGN desde 01.04.2004 al 31.08.2006.

No sólo se incrementó el número de eventos localizados en el interior de Tenerife, sino que se vio también incrementada la ya conocida actividad asociada a la zona de fallas marinas entre Tenerife y Gran Canaria. Este incremento de la actividad registrada, puede estar parcialmente justificado por

el incremento en número y calidad de la red sísmica: al aumentar su capacidad de localización, nos permite localizar eventos de pequeña magnitud que antes no tenían solución, a la vez que la precisión de las localizaciones es mayor. Este efecto no tiene casi influencia en los eventos de mayor magnitud, como los asociados a la serie de 2004.

## **1. ANÁLISIS DE LA SERIE SÍSMICA**

Desde el comienzo de esta nueva actividad se tomaron una serie de medidas, no solamente de reforzamiento de la red como ya se ha mostrado, sino de seguimiento y análisis en detalle de todo lo registrado en las estaciones sísmicas de la isla de Tenerife. Este especial seguimiento consistió principalmente en las siguientes labores:

- visualización de datos continuos para el reconocimiento de señales anómalas.
- determinación epicentral de la serie con modelos de tierra locales.
- seguimiento de aquellos parámetros estimativos del nivel de peligrosidad.

A continuación vamos a resumir los resultados logrados en estos tres campos de seguimiento.

### **1.1. Reconocimiento de señales anómalas**

Los datos de las estaciones sísmicas emplazadas en la isla de Tenerife fueron visualizados en una rutina diaria en búsqueda no sólo de pequeños eventos sísmicos, sino de señales anómalas. También se calcularon los espectrogramas horarios (evolución temporal del espectro) por la posible aparición de señales continuas tipo tremor. Al no tener, en realidad, la red sísmica instalada las cualidades requeridas para la vigilancia volcánica, el estudio se limitó únicamente al reconocimiento de señales no completamente sísmicas, siendo difícil su caracterización y, más aun, la asignación de su origen.

También se realizó el estudio de los espectrogramas correspondientes a la estación sísmica de banda ancha y tres componentes CRAJ que nos ha

permitido identificar, además de las señales ya conocidas sismo-tectónicas, al menos dos tipos de señales anómalas:

- Una transitoria de corta duración (orden de segundos) de amplio contenido frecuencial (máximos en torno 7Hz, y con frecuencias hasta 15-20 Hz), polarizada en dirección al Teide, cuya ocurrencia fue frecuente durante varios días (hasta 10 veces a la hora).
- Otra, que pudiera ser tremor, de contenido entre 1 y 5 Hz (en más de un modo) de varios días de duración.

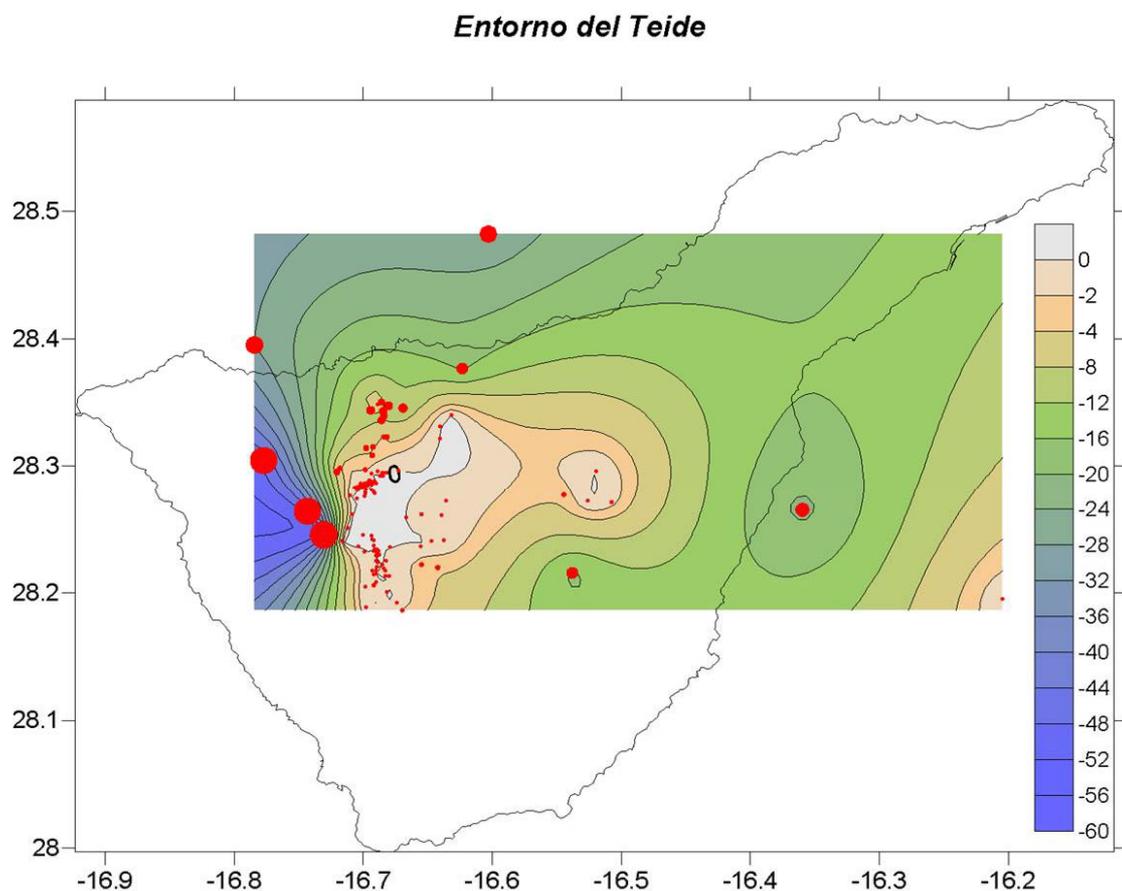


Figura 5: Relocalización usando el modelo de Tierra del Etna, de 140 eventos sísmicos detectados entre jun-04 y marzo-05 con magnitud  $M_{bLg}$  entre 0.5 y 3.6 (el tamaño del símbolo es proporcional a la magnitud del evento). La profundidad hipocentral se expresa con una codificación en colores e isótopos.

## 1.2. Determinación epicentral con modelos de tierra locales

Se reanalizaron y relocalizaron los eventos mejor registrados por la Red Sísmica del IGN, usando un modelo de Tierra más realista, como es el utilizado en el volcán Etna (J. Almendros, 2000), al tratarse los dos de estratovolcanes. En total se estudiaron 140 eventos correspondientes al periodo principal de actividad: junio-04 a marzo-05 y con magnitudes mbLg desde 0.5 hasta 3.6 (ocurrido el 30/07/04 y sentido II-III EMS).

Todos los eventos fueron relocalizados con el nuevo modelo, mostrando un cierto agrupamiento ya sugerido tras el reconocimiento de al menos 3 familias por el similar aspecto de sus señales en los sismogramas.

A continuación (Figura 5) mostramos sobre un mapa de Tenerife la posición de los epicentros relocalizados, que se encuentran en su mayor parte en el borde oeste del complejo Teide-Pico Viejo. El tamaño del símbolo es proporcional a la profundidad del hipocentro. Se han trazado isolíneas de igual profundidad para resaltar la posible relación de la serie con la estructura de la caldera de las Cañadas.

Como se puede observar la mayor parte de la serie transcurre en tres zonas (con cierta dispersión que creemos obedece a la falta de densidad y recubrimiento de la red) representadas por tres familias similares que denominamos:

- Sur de Icod de los Vinos: se localiza desde este punto hasta el NO de Pico Viejo, observándose que los eventos hacia el norte adquieren ligeramente más profundidad que los eventos hacia el sur. Este efecto puede ser un artificio debido a la falta de control en profundidad que provoca un aparente descolgamiento en la localización.
- Este de Guía de Isora: esta familia se encuentra bastante agrupada, aunque tiene cierta dispersión hacia el Sur. Son muy superficiales, y su forma de onda, en la única componente vertical de la estación de CCAN, indica una trayectoria muy vertical y lateralmente homogénea desde el epicentro a la estación, como es de esperar debido a su posición respecto a la cámara y a la corta distancia entre ellos.
- Sismicidad más profunda: En al menos 3 ocasiones, la red sísmica localizó eventos de mayor profundidad (entre 40 y 50 km) al Oeste de Pico Viejo. La profundidad real es desconocida, en tanto que el modelo

de tierra no es más que una aproximación, pero si se puede asegurar que no son superficiales como el resto de la sismicidad localizada.

En todos los casos tenemos que señalar que estas localizaciones son aproximadas, debido principalmente a una inadecuada geometría de la red y al no poder contar con un modelo realista de velocidades para la localización

En los dos paneles de la Figura 6 se muestra la distribución en profundidad de los sismos de la serie en un corte N-S (panel izquierdo), en donde se observa el comentado efecto de descolgamiento y su evolución temporal (panel derecho).

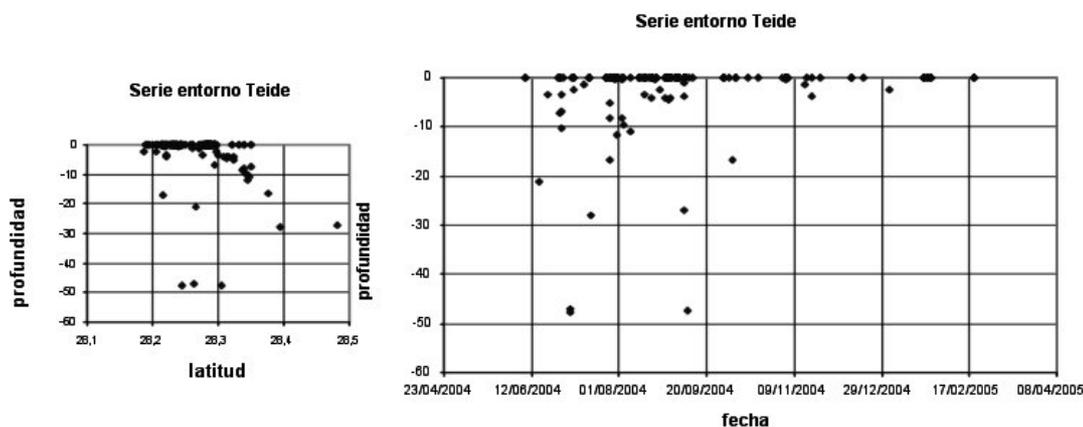


Figura 6: Panel izquierdo: corte N-S de la sismicidad localizada en Tenerife. Panel derecho: evolución temporal de la profundidad de la sismicidad localizada en Tenerife.

### 1.3. Seguimiento de aquellos parámetros estimativos del nivel de peligrosidad de la serie

Intentando evaluar la peligrosidad a lo largo del transcurso de la serie, se calcula de manera continuada tanto la energía liberada, como el parámetro “b” estimativo del carácter sismotectónico o volcánico de la serie.

Se nos planteó el problema de no tener una fórmula de estimación de la magnitud válida para este tipo de corteza (ya que la usada en el cálculo de la sismicidad es la misma que la aplicada en la península, basada en el máximo

del tren de ondas S), así que se compararon los resultados con otras fórmulas aplicadas en terrenos volcánicos.

En la Figura 7 se muestra el cálculo de la energía acumulada que en la estimación menos conservadora (usando un ajuste por duración que se aplica en la sismicidad volcánica en México) es inferior a  $10^{15}$  ergios. Aplicando la fórmula más conservadora, la liberación de energía de esta serie no supera los  $2.0 \cdot 10^{12}$  ergios)

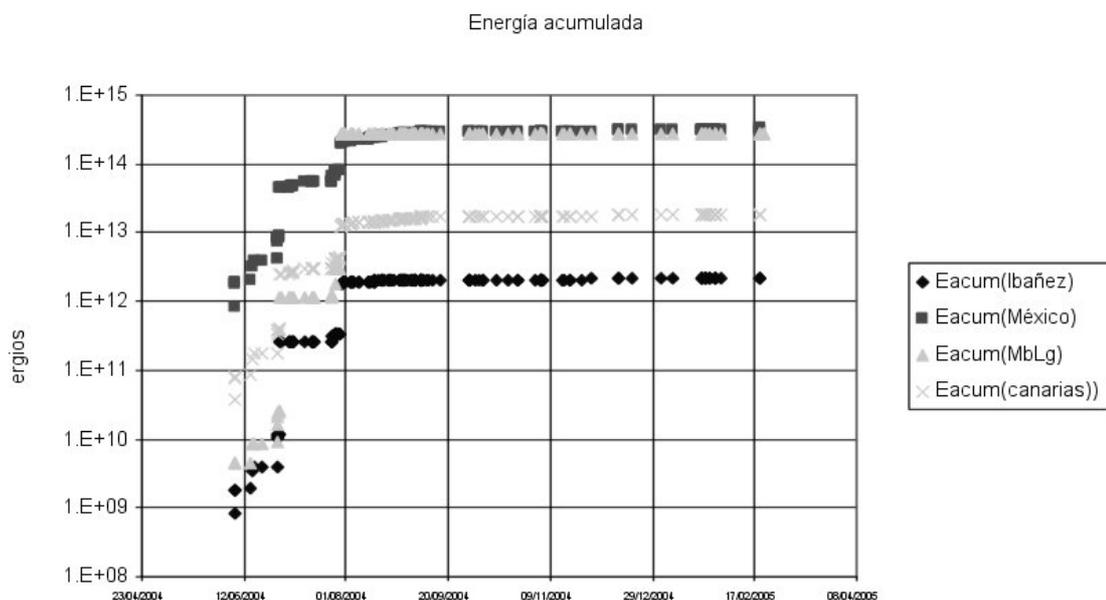


Figura 7: Cálculo acumulativo de energía sísmica liberada utilizando diferentes fórmulas para el cálculo de la magnitud: MbLg, en función de la duración, la utilizada en Méjico y por el grupo de la Universidad de de Granada (Almendros, 2000).

En la Figura 8 mostramos el cálculo del parámetro b acumulativo de la serie usando, como en el caso anterior, diferentes fórmulas de magnitud. En todos los casos, la pendiente es prácticamente 1, sugiriendo un carácter predominantemente sismotectónico.

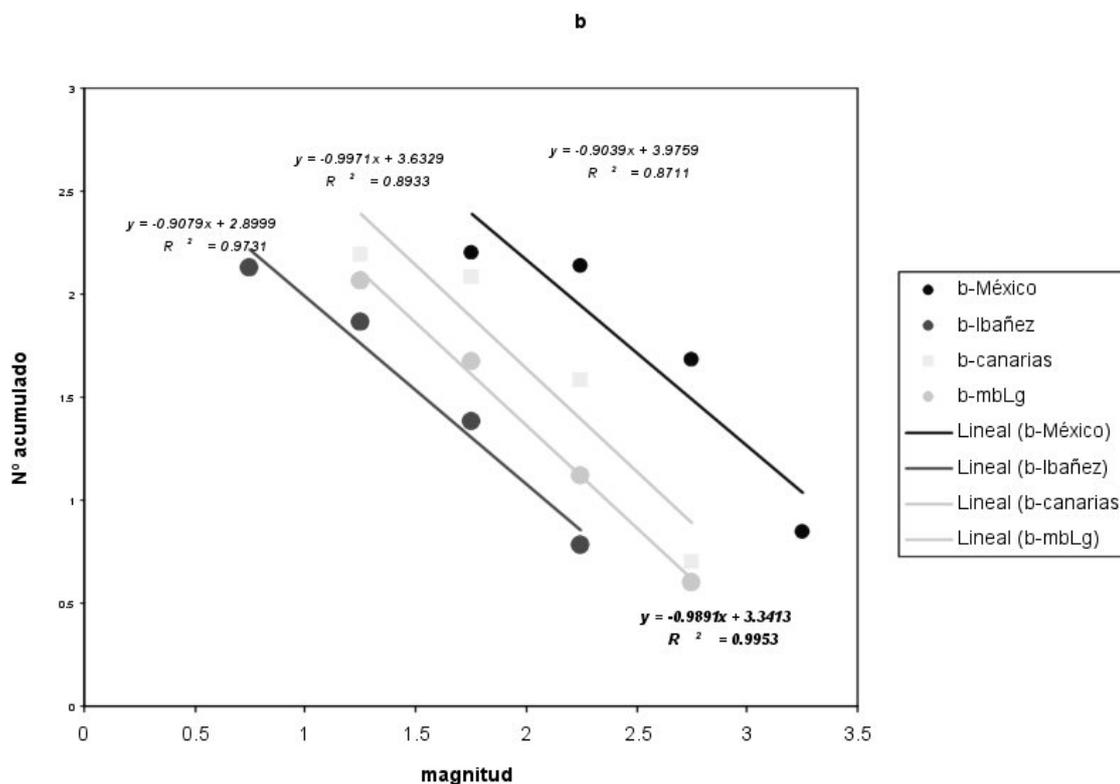


Figura 8: Cálculo del parámetro b de la relación Gutenberg-Richter utilizando diferentes fórmulas de magnitud.

## 2. VIGILANCIA VOLCÁNICA MULTIDISCIPLINAR

Por vigilancia volcánica se entiende el conjunto de todas las técnicas utilizadas para obtener información sobre la evolución temporal de la actividad en un determinado emplazamiento volcánico, a través de la medida de diferentes parámetros cuyos valores pueden ser indicativos del estado en el que se encuentra (es más importante conocer la variación de un parámetro en el tiempo, que su valor absoluto). Su objetivo es mejorar el conocimiento de cómo y por qué los volcanes entran en erupción, para predecir y mitigar los efectos sobre los habitantes de las poblaciones cercanas.

Tras una primera etapa puramente descriptiva (sólo se realizaban estudios petrológicos y morfológicos), se ha dado paso a una etapa cuantitativa

añadiéndose otros aspectos fundamentales para el entendimiento del fenómeno volcánico, como el estudio de las características físicas de los magmas, los mecanismos eruptivos, perfeccionando las técnicas y métodos empleados en la vigilancia de volcanes, redefiniendo los criterios empleados en la evaluación del riesgo volcánico, etc, dando paso a una nueva concepción de la Volcanología, como ciencia realmente multidisciplinar que incorpora un gran número de ciencias diferentes (sismología, geodesia, geoquímica, gravimetría, etc) y que incorpora los avances tecnológicos que se producen (satélites, ordenadores portátiles, transmisiones digitales,...).

Sólo en unos 150 volcanes del mundo, de los aproximadamente 550 que han tenido erupciones históricas, se ha realizado o realiza alguna investigación, y de éstos, sólo una docena de ellos cuentan con una red permanente de vigilancia multiparamétrica, principalmente en países económicamente desarrollados.

Igualmente importante en la reducción del impacto negativo de las erupciones sobre la sociedad, es la realización de campañas educativas dirigidas tanto a la población en general, como a las autoridades. En ellas se ha de enseñar la forma adecuada de responder ante una crisis volcánica.

Tras estas generalidades sobre la vigilancia volcánica, vamos a pasar a describir someramente las técnicas más utilizadas en la actualidad para conocer la variación en el tiempo de los parámetros que se suponen relacionados con las modificaciones del estado de una zona volcánica. Las técnicas que se van a exponer, son las que, en principio, el Instituto Geográfico Nacional va a utilizar para la vigilancia volcánica del archipiélago canario.

## **2.1. Control de la deformación del terreno**

Los cambios en el flujo de magma, así como la determinación de la posición, forma y crecimiento de nuevas intrusiones magmáticas se pueden conocer a priori, mediante el control de deformaciones del terreno. El ascenso del magma desde el manto o desde depósitos superficiales induce variaciones de presión que deforman el edificio volcánico

Vamos a enumerar las técnicas de control de deformación de uso más habitual en la actualidad:

- nivelación de precisión: Es el método clásico más preciso para medir cambios relativos de altitud, o diferencias de elevación. La precisión que se obtiene en nivelaciones de alta precisión es de  $\sqrt{K}$  (mm) siendo K la

longitud nivelada (en km). En volcanología la nivelación suele ser de precisión, obteniéndose precisiones suficientes para los niveles de deformación esperables. Los inconvenientes son que el método es laborioso y costoso.

- inclinómetros: miden cambios en la inclinación del suelo, alcanzando precisiones del orden de microrradianes. Son instrumentos de gran precisión, los hay relativamente económicos y que requieren un mínimo mantenimiento, que han demostrado su gran utilidad como controladores de deformación. Los de mayor precisión son los denominados de 'tubo de agua', de uso muy restringido en la volcanología por las estrictas condiciones que debe reunir su emplazamiento e instalación. Habitualmente se utilizan los de 'burbuja', consisten en un recipiente esférico relleno de un fluido conductor que contiene una burbuja de aire. La conductividad entre los dos electrodos depende de la posición de la burbuja. Son más precisos y además más pequeños y fáciles de manejar (portátiles), por lo que se utilizan mucho para vigilancia de volcanes.
- medida electrónica de distancia: mediante un distanciómetro se mide una distancia utilizando una señal luminosa de frecuencia conocida. Si queremos medir distancias y ángulos, se utiliza una estación total. Hay dos modos de trabajo:
  - registro continuo con la estación total y prisma fijos.
  - medidas discretas con la estación total y el prisma montados en trípodes.
- Receptores GPS: Utilizando estaciones receptoras de las señales emitidas por los satélites que constituyen la constelación GPS, podemos medir distancias con una gran precisión sin requerir usuarios altamente cualificados. Tiene una ventaja fundamental que está consiguiendo que se establezca como uno de los métodos fundamentales en la vigilancia de deformaciones volcánicas y es que no necesita intervisibilidad entre los puntos cuya distancia se quiere conocer. Hay dos maneras de trabajar con receptores GPS en aplicaciones volcánicas:
  - diseñando una red de puntos en los que se estaciona un receptor GPS durante un intervalo de tiempo. Esta red es reobservada con cierta periodicidad o cuando alguno de los otros parámetros

controlados mediante la red de vigilancia, muestra signos de reactivación.

- Estableciendo una red de estaciones GPS que de manera ininterrumpida establecen su posición (estaciones GPS permanentes). De esta manera se puede controlar en tiempo real la alteración de la posición de los puntos que constituyen esta red.

A parte de los sistemas mencionados, actualmente hay técnicas de vigilancia de deformaciones mediante el uso de satélites artificiales, de gran utilidad porque cubren áreas extensas y no tienen problemas de accesibilidad. La técnica que se suele utilizar es la denominada InSAR (interferometría con radar de apertura sintética), el procedimiento se basa en el cálculo de la diferencia de fase entre dos 'imágenes' obtenidas en pasadas diferentes del satélite, para cada píxel de la imagen. La distribución espacial de estas diferencias de fase constituye un interferograma o imagen interferométrica, y representa, por tanto, el cambio de posición de cada punto en el tiempo transcurrido entre las obtención de las dos imágenes. La precisión máxima alcanzable, es de media longitud de onda de la emitida por el radar (para la banda C del ERS, unos 28 mm)

## 2.2. Control gravimétrico

La gravimetría se utiliza como herramienta para conocer la distribución de masas en el subsuelo y su redistribución asociada con los fenómenos volcánicos.

Las medidas se realizan con gravímetros, que pueden ser de varios tipos, según el principio físico en el que se basen para obtener las medidas. La elección del tipo de instrumento se basa en la precisión requerida para detectar las variaciones de gravedad esperadas en la zona: péndulo (0.5 mgal), caída libre (2  $\mu$ gal), muelle (10-20  $\mu$ gal), electromagnéticos (0.1  $\mu$ gal).

En el ámbito de los volcanes, nos interesa medir los pequeños cambios en el tiempo de la gravedad observada en una red establecida, con respecto a una estación que se considera como base fija, esta es la definición de microgravimetría.

### 2.3. Control sísmico

El objetivo de la sismología volcánica es entender la dinámica de los sistemas volcánicos activos, las propiedades físicas de las burbujas en el magma, extensión y evolución de la región fuente del magma, las condiciones locales y regionales de la deformación y poder llevar a cabo la predicción del comportamiento eruptivo.

Atendiendo a los procesos que llevan asociados, los terremotos volcánicos se clasifican en:

Terremotos volcano-tectónicos (VT), se originan por fracturas de cizalla en grietas. Se trata de terremotos similares a los que ocurren en zonas tectónicas activas y presentan fases diferenciadas (P, S, etc). Su ocurrencia suele ser en enjambre sísmico (secuencia de numerosos terremotos de tamaño similar, agrupados en el tiempo y compartiendo una misma zona epicentral).

La energía se distribuye en una banda ancha de frecuencias y decae exponencialmente con el tiempo.

Toda zona volcánica activa tiene un cierto nivel de sismicidad volcano-tectónica que denominamos nivel base, independientemente del estado de actividad de la región

- Eventos de largo periodo (LP), se originan por presurización de fluidos (transitorios). Son emergentes y no presentan fases diferenciadas. Su espectro muestra principalmente bajas frecuencias comparadas con los terremotos volcano-tectónicos. La energía se concentra en una banda estrecha de frecuencias.

Estos eventos también se suelen producir en forma de enjambre, a veces con una alta frecuencia de ocurrencia.

- Tremor volcánico (T), tiene su origen en la presurización de fluidos de manera continua, por superposición de eventos de largo periodo. Tiene una amplitud constante durante un largo período de tiempo (desde minutos hasta varias horas).

Las frecuencias centrales de los picos dominantes son especialmente estables y no suelen estar influenciadas por las características de la erupción ni por la situación de las estaciones sísmicas.

La localización de la fuente del tremor es complicada debido a la ausencia de fases identificables. Únicamente se pueden localizar haciendo análisis de coherencia de señales registradas por al menos 3 estaciones de banda ancha y 3 componentes.

- Eventos híbridos, asociados a procesos mixtos. Son el resultado de la superposición de terremotos volcano-tectónicos y eventos de largo periodo, apareciendo en este orden en el sismograma.
- Explosiones (E), son junto con los tremores, las señales sísmicas más características cuando está en curso una erupción. Apareciendo superpuestas ambas señales con el tremor como ruido de fondo.

En general, presentan dos llegadas claramente diferenciadas: la primera asociada a la propagación en forma de ondas internas o superficiales de la explosión, y la segunda corresponde a la onda de sonido, con una velocidad clara de 340 m/s.

Los sismómetros pueden ser de 1 ó 3 componentes, y según la parte plana de su espectro, se clasifican en corto periodo, respuesta ampliada o banda ancha. La instalación de las estaciones sísmicas puede ser:

- En red: se ha de rodear la zona sismogénica. La localización se hace aplicando mínimos cuadrados a las diferencias de los tiempos de llegada observados de diversas fases sísmicas y los calculados asumiendo un modelo de distribución de velocidades.
- En array: emplazamiento suficientemente alejado de la fuente sísmica como para poder aproximar el frente de ondas a un plano. Localización por correlación de trazas.

Es conveniente alejar las estaciones de fuentes de ruido antrópico, asegurar la estabilidad del suministro eléctrico, proporcionar una base de tiempo precisa y estable (GPS), y si es posible, instalar un sistema de transmisión en tiempo real, a un centro de recepción y análisis de datos.

### 3. SISTEMA DE VIGILANCIA VOLCÁNICA DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL

Tras la crisis sísmica que comenzó en la isla de Tenerife en abril de 2004, y después de que el Instituto Geográfico Nacional asumiese la función de vigilancia volcánica (Real Decreto 1476/2004 de 18 de junio: La Dirección General del Instituto Geográfico Nacional ejerce las siguientes funciones:..." la observación, vigilancia y comunicación de la actividad volcánica en el territorio nacional y determinación de los riesgos asociados"), la Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica ha llevado a cabo el diseño de un sistema multiparamétrico de vigilancia volcánica para esta isla.

Los emplazamientos elegidos actualmente son los siguientes:

A) *CCAN*, que contará con la siguiente instrumentación:

- estación sísmica de 3 componentes de banda ancha
- estación sísmica de corto periodo
- gravímetro
- magnetómetro
- estación GPS permanente
- dilatómetro

B) Galería de *Río de Guía*, en la que se instalará:

- inclinómetro
- array sísmico lineal
- estación GPS permanente

C) *Fortaleza*, en el llano se instalará:

- array sísmico de 4 estaciones con configuración en estrella
- cámara de control visual
- estación GPS permanente

D) *Pico del Teide*, en el que se instalará:

- cámara térmica en el IR
- estación GPS permanente

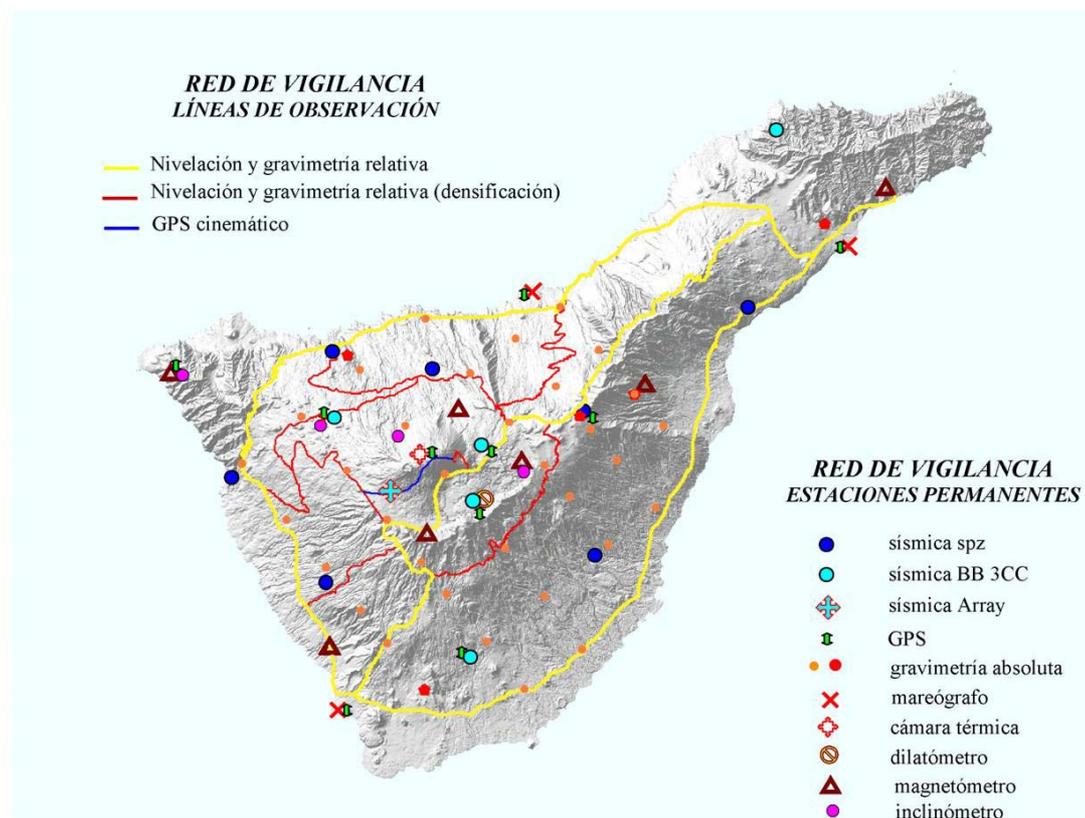


Figura 9: Proyecto de Sistema de Vigilancia Volcánico del Instituto Geográfico Nacional para la isla de Tenerife.

El estado actual de este proyecto es el siguiente:

- Se han solicitado las Licencias de Obras Municipales para la realización del acondicionamiento de los emplazamientos elegidos (buscando siempre minimizar su impacto visual).

- La instrumentación adquirida hasta finales de 2006 (estaciones sísmicas, estaciones GPS permanentes, mareógrafos, sistemas de transmisión, adquisición y tratamiento de datos) tiene un importe de 1.5 M€.
- Se ha seleccionado al personal técnico necesario para la instalación, mantenimiento y análisis de los datos de este sistema de vigilancia volcánica.

Se prevé la instalación de un sistema de vigilancia volcánica similar en el resto de las islas con actividad volcánica histórica. En La Palma ya se ha dado comienzo al proyecto de densificación de la red de nivelación actualmente existente.

El Instituto Geográfico Nacional recibe el asesoramiento del Consejo Superior de Investigaciones Científicas en interpretación de datos de la red de vigilancia volcánica, dentro del marco del convenio suscrito entre ambas instituciones.

Con este sistema de vigilancia volcánica, el Instituto Geográfico Nacional pone en funcionamiento uno de los sistemas más potentes de vigilancia volcánica en el mundo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Almendros J, Ibáñez JM, Alguacil G, Morales J, Del Pezzo E, La Rocca M, Ortiz R, Araña V, Blanco MJ (2000). A double seismic antenna experiment at Teide volcano: Existence of local seismicity and lack of evidence of volcanic tremor. *J. Volcan. Geotherm. Res.*, 103 (1-4): 439-462.
- Astiz M, García A. *Curso Internacional de Volcanología y Geofísica Volcánica*. Cabildo de Lanzarote.
- Scarpa R, Tilling RI. *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards*. Springer
- Martí J, Araña V. *La Volcanología actual*. Editorial: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.
- McGuire B, Kilburn CRJ, Murray J. *Monitoring active volcanoes*. UCL Press

## **Geomorfología eólica del sector NE de El Jable de Lanzarote: pasado y presente**

Laura L. Cabrera Vega e Ignacio Alonso Bilbao

Departamento de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. E-mail: lcabrera@becarios.ulpgc.es, ialonso@dfis@ulpgc.es

### **RESUMEN**

La evolución de la geomorfología eólica de El Jable (Lanzarote) se ha llevado a cabo a partir de sendos estudios a distintas escalas espacio-temporales: por un lado, se ha realizado un análisis detallado de evolución de las geoformas realizando estudios de dinámica sedimentaria siguiendo la evolución de tres dunas aisladas, de morfología barjana, situadas al NE de la zona de estudio. Para ello se ha realizado estacionalmente un seguimiento topográfico de la duna más meridional y el contorno de las tres dunas con GPS desde febrero de 2003 hasta mayo de 2005. Por otro lado, se ha efectuado un análisis comparado de fotografías aéreas desde el año 1966 hasta 1998, observándose que la zona noreste ha cambiado sustancialmente con una importante disminución del número de dunas. Las causas de esta reducción no son solo naturales (reducción de los aportes de sedimentos marinos que entran por la costa noreste y pérdidas de sedimentos por la erosión producida por el viento), sino que hay que buscarlas también en la actividad del hombre en la zona.

### **INTRODUCCIÓN**

En el presente trabajo se analiza la evolución de El Jable de Lanzarote desde una perspectiva de geomorfología eólica. El origen de las estructuras existentes en esta zona es principalmente volcánico y sedimentario. Este estudio se centra en estas últimas, que son las que caracterizan y dan nombre

a este territorio. Para ello se ha seguido una metodología basada tanto en el trabajo de campo como en la fotointerpretación, teniendo en cuenta que el principal agente modelador del terreno que actúa en la zona es el viento.

La fotointerpretación como técnica para el análisis de sistemas dunares ha sido frecuentemente utilizada (Díaz y Hernández, 2004; Ojeda et al, 2005).

Existe un número considerable de estudios geomorfológicos sobre los principales sistemas dunares de las Islas Canarias, entre los que cabe destacar los realizados por Hernández (2002) en las dunas de Maspalomas: Alcántara-Carrió (2003) en el Istmo de Jandía y Criado (1987) en Corralejo. Sin embargo en El Jable de Lanzarote, los estudios geomorfológicos específicos sobre las estructuras dunares son prácticamente inexistentes.

## **1. ZONA DE ESTUDIO**

Lanzarote es la isla más oriental del Archipiélago Canario, separada de la costa africana por sólo 140 km. Es una isla alargada con orientación NE-SO. Tiene alrededor de 60 km de largo, 20 de ancho y una superficie de 862 km<sup>2</sup>, encontrándose su altura máxima en Las Peñas del Chache a 670 metros. Forma un único edificio volcánico con Fuerteventura y la separa de ella una estrecha franja de mar de unos 10 km y con una profundidad máxima de 40 metros. La topografía es típica de una isla madura donde predominan volcanes profundamente erosionados, barrancos en forma de U y riscos con mucha pendiente, además de grandes extensiones de arena eólica. Aunque sea una de las islas más antigua, gran parte de su superficie está cubierta por una erupción histórica (1730-36).

El clima es árido con una temperatura media anual de 20,7°C. Las lluvias medias anuales no exceden de 110 mm, siendo muy irregulares dependiendo de la estación (datos del Instituto Nacional de Meteorología, 1972-2000). En Lanzarote los vientos predominantes son los alisios desde mayo a septiembre, con velocidad media-alta de componente NNE. Durante el periodo de otoño-invierno los vientos son altamente variables tanto en velocidad como en dirección (Alcántara-Carrió y Alonso, 1996).

### 1.1. Geología de El Jable

El Jable es una franja cubierta por arenas de 21 km de largo y una superficie total de aproximadamente 90 km<sup>2</sup> que atraviesa la isla de Lanzarote por el centro en dirección N-S. Su anchura es variable, siendo en la costa norte de aproximadamente de 10 km y estrechándose hasta los 4 km en la costa sur. Presenta un relieve muy suave, siendo 200 metros la altura máxima (exceptuando los conos volcánicos). Está limitada al NE por los Riscos de Famara y los abanicos de derrubio resultantes de la erosión de éstos, y en el resto de la zona por diversos conos volcánicos, campos de lava de diferentes episodios eruptivos y extensas zonas de cultivos. Existen diversos conos volcánicos en la zona de estudio (volcanes de Soo al norte y Monte Mina en el sur), así como coladas de la erupción de Timanfaya (1730-36) y Tao (1824). La costa sur está formada por depósitos de playa, mientras que la norte presenta una plataforma rocosa, salvo en el extremo oriental donde se encuentra una extensa playa (Playa de Famara) (Fig.1).

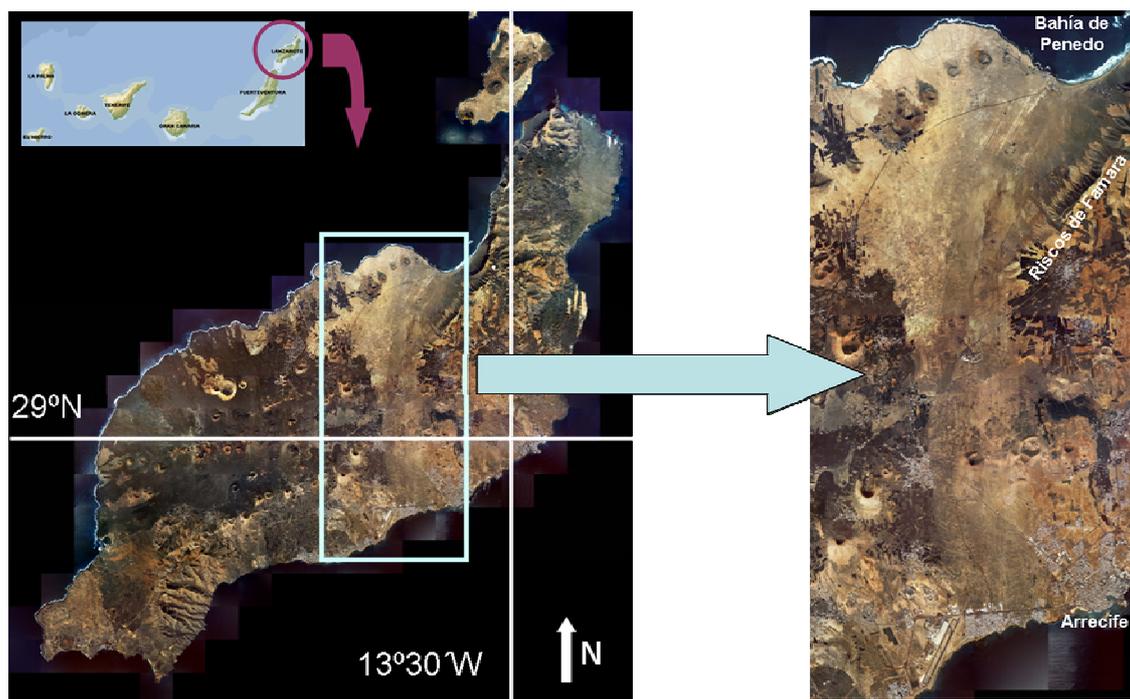


Figura 1: Mapa de localización de El Jable

El Jable fue creado por diferentes erupciones fisurales desde el Pleistoceno hasta la actualidad. La mayor superficie se originó en el Pleistoceno inferior, con la formación de los volcanes en escudo de Mozaga, Guanapay y Lomo de San Andrés. Con posterioridad se formaron Monte Mina y los volcanes de Soo (Pleistoceno superior). Ya en épocas históricas se formó un brazo de lava del episodio final de Timanfaya (Montaña de Las Nueces y Montaña Colorada en 1736) que se bifurcó cubriendo parte de las arenas de El Jable (Fig. 1) (Carracedo y Rodríguez Badiola, 1993).

Los materiales que forman El Jable son de distinta procedencia. Existen productos lávicos y piroclásticos derivados de la actividad volcánica de erupciones cercanas; sedimentos de origen marino que proceden de la Bahía de Penedo (algas calcáreas, fragmentos de conchas, foraminíferos,...) aportes terrestres consistentes en materiales de derrubios de ladera y barrancos de los Riscos de Famara, erosión de los paleosuelos, así como aportes eólicos de sedimentos finos transportados en suspensión desde África (Cabrera et al, 2005, 2006).

## 2. ANTECEDENTES

Existen diversos estudios paleoclimáticos (Meco, 2003; Alonso Zarza y Silva, 2002) y una extensa bibliografía sobre el origen geológico y la vulcanología de la isla (Carracedo y Rodríguez Badiola, 1993; Marinoni y Pascuarè, 1994; Anguita et al, 2002). Sin embargo, por lo que respecta a los sedimentos que recubren El Jable son pocas las referencias existentes.

De León et al (1990) publicó un trabajo arqueológico en el que se presenta un mapa con la extensión de El Jable hasta el 1º cuarto del siglo XIX y su posterior ensanchamiento (Fig.2). Los límites que De León define en su cartografía son mayores que los que se mencionan en este estudio debido a que De León incluye una zona de arena cubierta por piroclastos que está fuera de la influencia eólica. Dicho trabajo relata cómo, por una tormenta de arena, el pueblo de Fiquinino (señalado en el mapa con \*) quedó enterrado bajo éstas. Más recientemente Perera (2004) publica un artículo sobre los problemas que acarrea la arena de El Jable a los agricultores a principios del siglo XIX y hay varias citas de diferentes personajes como obispos, alcaldes, etc. de los siglos XVII, XVIII y XIX en las que se destaca el gran espesor de este manto eólico,

de cómo discurrían las arenas blancas desde el norte (Caleta y Playa de Famara) hacia el sur y de la problemática que esto causaba. Entre los años 1800 y 1830, escaseó el material combustible para los hornos de cal, por lo que la población recurrió a la vegetación de la zona norte de El Jable, dejándola yerma. La pérdida de cobertura vegetal, produjo una rápida erosión del sustrato y un transporte hacia el sur del material. Según Perera (2004), en pueblos como el de San Bartolomé, después de que fueran arrancados los arbustos de la zona norte, el jable se extendió y esterilizó las vegas de sus alrededores.



Figura 2: Carta arqueológica de El Jable (modificado de De León et al., 1990).

Hernández Pacheco, en una expedición científica que realizó a Lanzarote en 1907, describe El Jable como "una ancha banda blanquecina que partiendo de la Bahía de Penedo avanza hacia el sur hacia la costa de levante, a perderse

en el mar por bajo de Arrecife”, y al material que lo compone como “finas y blancas laminillas que parecen el resultado de la trituración de conchas; es una arena uniforme, fina, blanca, mate, blanda y solo se distinguen entre los granillos blancos, algunos, en escaso número, de color negro, que sensiblemente son partículas de lava o basalto del suelo de la isla”. También describe una duna en la carretera de Arrecife a Yaiza, en la zona más al sur de El Jable de 100 metros de longitud y 14-16 metros de altura y describe que por esa zona El Jable tiene una anchura de 5 km. (Hernández Pacheco, 2002).

### 3. METODOLOGÍA

El estudio de las geoformas sedimentarias y su evolución, se ha abordado a partir de un diseño metodológico basado en las siguientes técnicas y herramientas: análisis de viento, seguimiento topográfico, toma de datos mediante GPS e interpretación de fotografías aéreas.

Esta metodología se ha aplicado al sector NE de El Jable porque es donde se encuentran las estructuras dunares más susceptibles de que sufran los mayores cambios.

Los datos de viento se obtuvieron de la estación del Instituto Nacional de Meteorología ubicada en Caleta de Famara, la más próxima a la zona de estudio, para el periodo comprendido entre Abril 2003 y Marzo 2004. Es de destacar que se trata de una estación no automática, por lo que hubo que procesar registros de papel originales.

El seguimiento topográfico se realizó a partir de sucesivos levantamientos topográficos, efectuados trimestralmente con estación total electrónica GTS-300 de la duna más meridional de las tres existentes en la zona, a lo largo de un periodo de dos años (02/2003 - 03/2005). También se llevó a cabo un seguimiento de la evolución de las tres dunas, tomando el contorno de cada una con un GPS Garmin eTrex Summit, con 4 - 5 metros de error.

Las fotografías aéreas de 1966 se examinaron con un estereoscopio (Aviopret). Se georreferenciaron con el programa Ilwis 3.2 Academic mediante la técnica de los puntos de control, a fin de permitir su correcta comparación. Además se utilizó un sistema de información geográfica (Arcview 3.2) para posicionar los sucesivos contornos de las tres dunas obtenidos con GPS sobre

un mapa topográfico, a fin de analizar la posible influencia de ésta y las infraestructuras viarias de la zona. También se localizaron las dunas existentes en el año 1966 y en el 1998 para su posterior comparación.

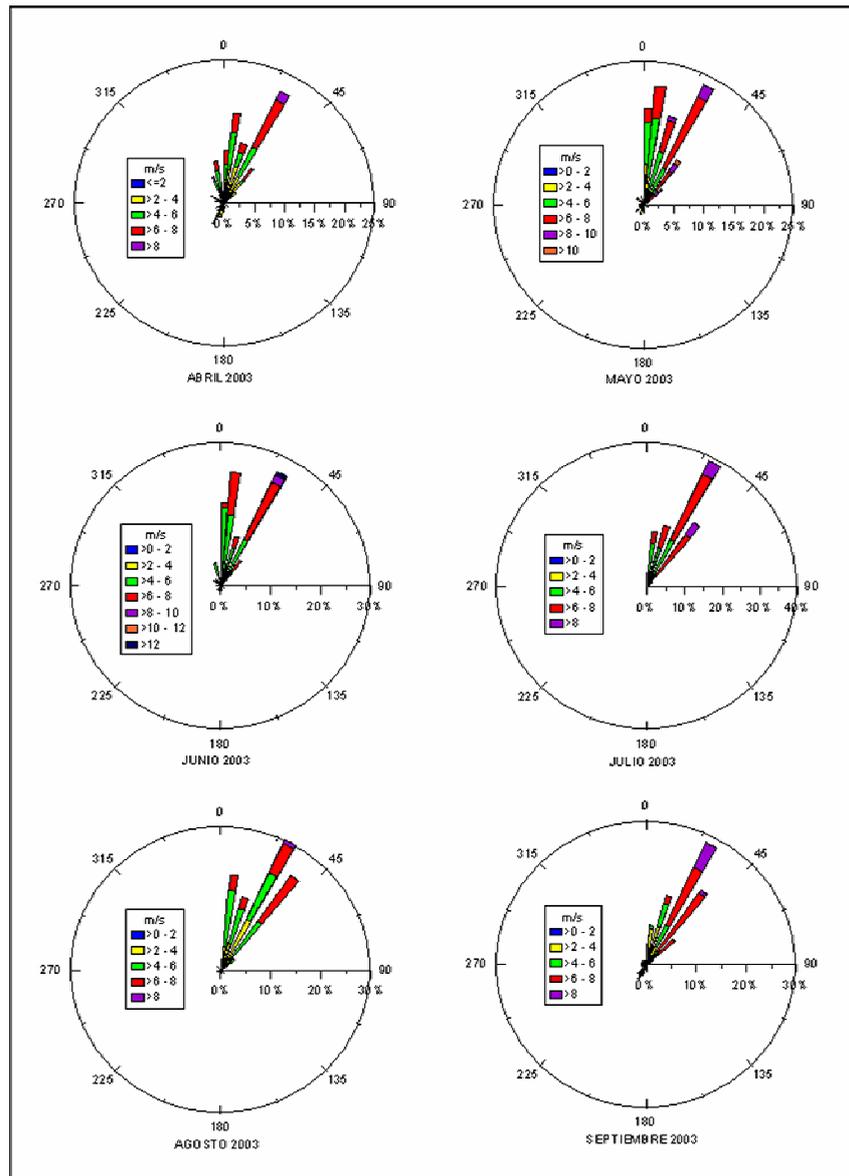


Figura 3: Rosas de viento desde abril a septiembre del año 2003 para Caleta de Famara.

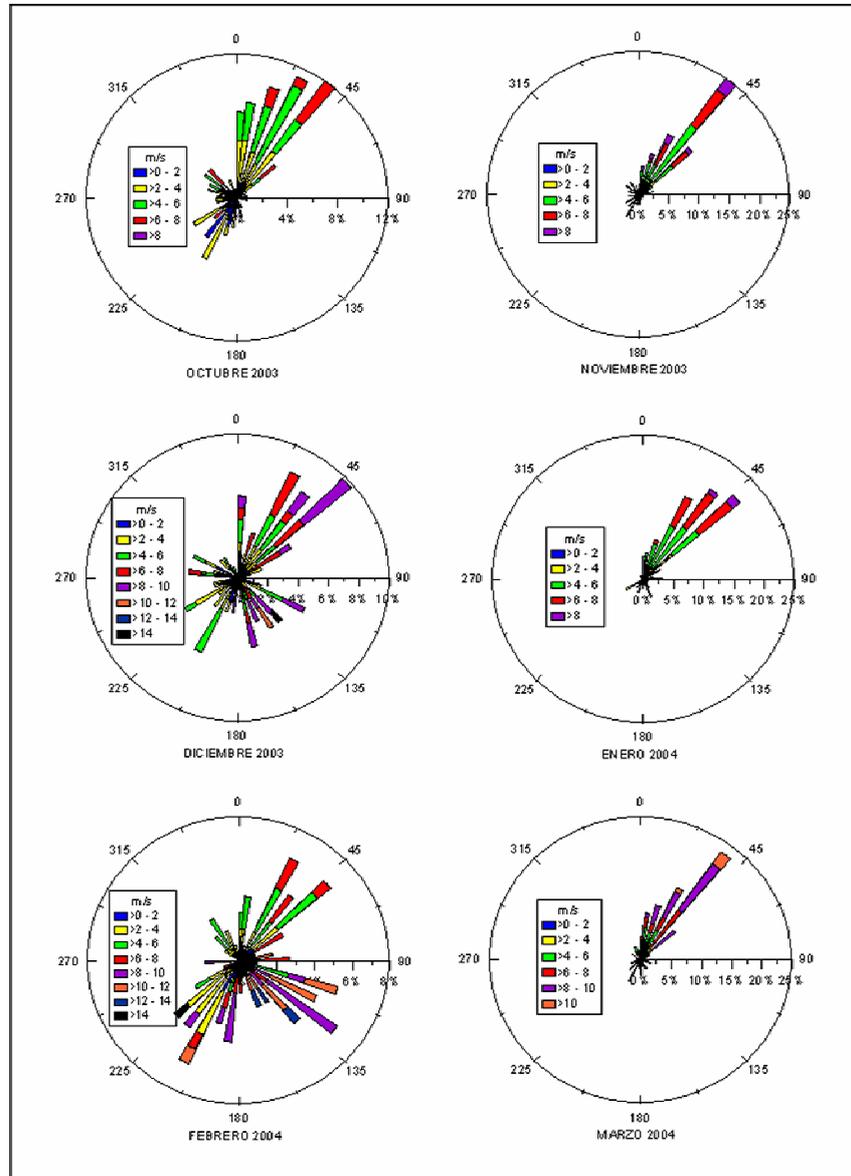


Figura 4: Rosas de viento desde Octubre 2003 a Marzo 2004 para Caleta de Famara.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Datos de viento

Los resultados se han obtenido utilizando las horas tipo de cada día (00 horas, 07 horas, 13 horas y 18 horas) para los doce meses y se han representado en rosas de viento las direcciones y velocidades (Figs. 3 y 4).

Los datos de viento muestran que predomina la componente NNE prácticamente durante todo el año, excepto durante los meses de diciembre de 2003 y febrero de 2004 en los que hay una variabilidad direccional bastante significativa. Es precisamente en estos meses en los que se registran los valores máximos de velocidades de viento (velocidades superiores a 14 m/s, fig. 4) de todo el año, siendo en ambos casos las direcciones de estas velocidades máximas de componente sur (en diciembre de componente SE, y en febrero del SO).

### 4.2. Seguimiento topográfico

La fig. 5 muestra los metros de avance de la duna en dirección sur durante las nueve campañas topográficas efectuadas, así como las tasas de avance en cm/día. Se observa claramente la existencia de variaciones estacionales en el movimiento de la duna. La figura 6 presenta el resultado de la primera y última topografías realizadas el 21/02/2003 y 05/03/2005 y el punto (0,0) que corresponde al punto fijo sobre el que se situaba la estación total.

El movimiento neto de la duna durante los dos años fue de 45 metros en dirección SSO, con una tasa media de avance de 6.1 cm/día. Las mayores tasas de avance de la duna (unos 13 cm/día) se producen entre los meses de junio y septiembre, tanto para el 2003 como para el 2004, estando estos meses caracterizados por el claro predominio de los alisios (fig 3). Por el contrario, durante los meses de otoño-invierno la duna apenas se movía, con tasas de avance de 0-1.2 cm/día entre octubre de 2003 y enero de 2004, y ligeramente superiores un año después (unos 3.4 cm/día entre octubre 2004 y febrero 2005). A partir de los datos de las rosas de viento (fig 4) se puede comprobar que en la época de menores valores de las tasas de avance coincide con los meses en que el viento sopla de muchas direcciones, y en particular cuando la

componente sur del viento se hace significativa, de modo que el transporte neto es prácticamente nulo.

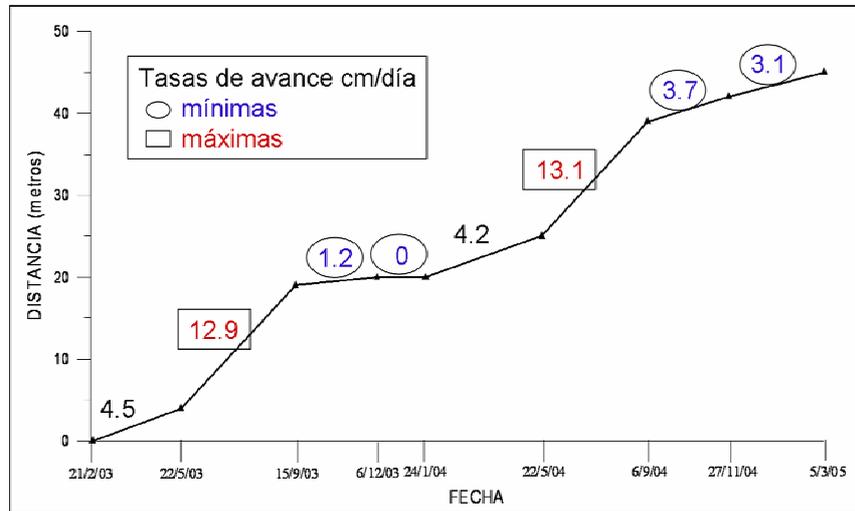


Figura 5: Distancia recorrida por la duna sur a lo largo de dos años.

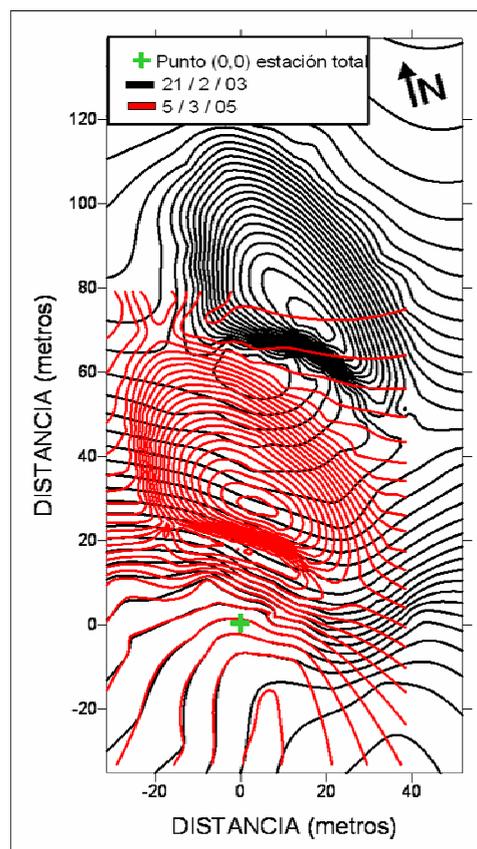


Figura 6: Evolución de la duna sur en un periodo de dos años.

### 4.3. Datos GPS

Los contornos de las tres dunas se tomaron en ocho campañas desde el junio de 2003 hasta marzo de 2005.

A pesar del error del método (4-5 m), las medidas realizadas a lo largo de este periodo de tiempo dan como resultado, que las tres dunas evolucionan de modo similar, presentando un movimiento neto hacia el SSO, si bien se observa que sufren distintos cambios en sus morfologías durante su avance (Fig. 7).

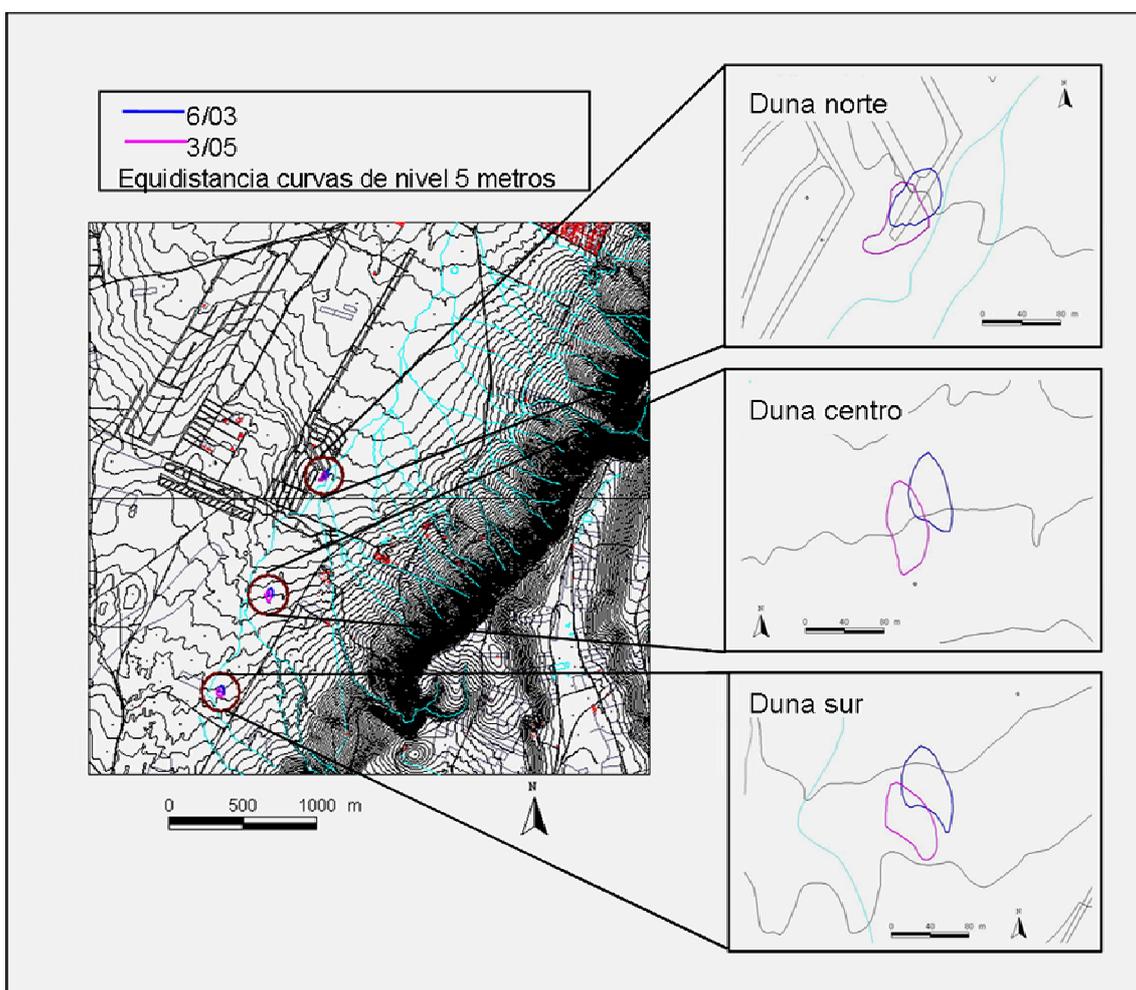


Figura 7: Topografía de la zona NE de El Jable y evolución para un periodo de dos años de las tres dunas de morfología barjana, tomando el contorno de las dunas con GPS.

La duna situada más al norte es, de las tres, la que más variabilidad morfológica ha presentado. Se encuentra ubicada sobre los restos de una infraestructura viaria y su morfología cambia adaptándose a ella. Además, el lado este de la duna, en épocas de lluvia, es erosionado por un barranco, lo que indudablemente condiciona su evolución. La duna central no tiene ningún impedimento topográfico ni existen estructuras viales en sus proximidades. Durante el periodo de seguimiento se observa que ha experimentado un alargamiento en su morfología. La duna más meridional es la que menos variaciones ha sufrido conservando una perfecta morfología de duna típicamente barjana. Cabe esperar que a partir de ahora su tasa de movimiento disminuya debido a que justo delante de la cara de avance de la duna existe una loma de 13% de pendiente.

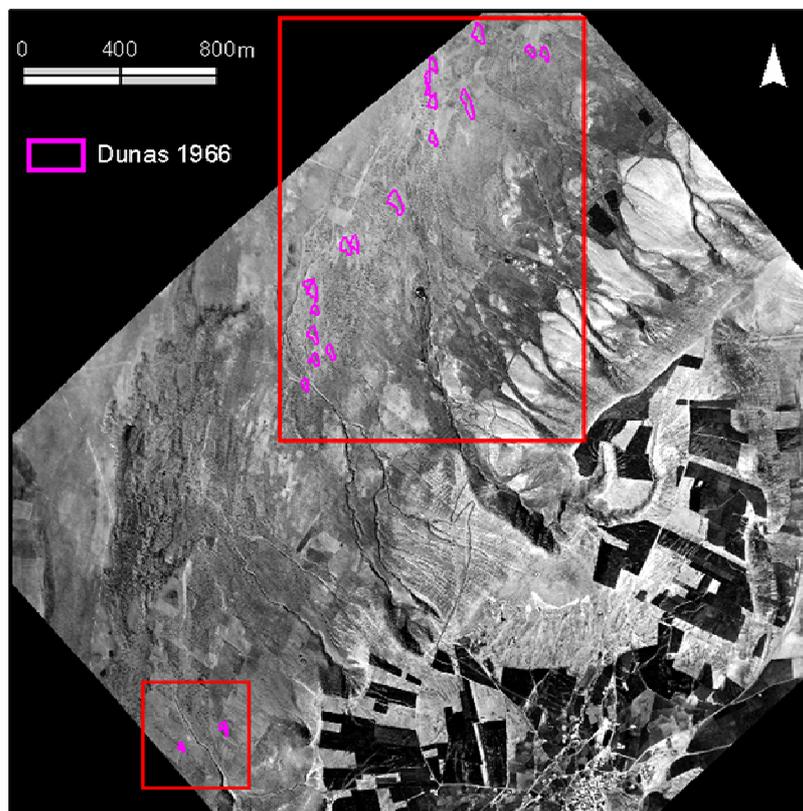


Figura 8: Contorno de las dunas barjanas en el año 1966.

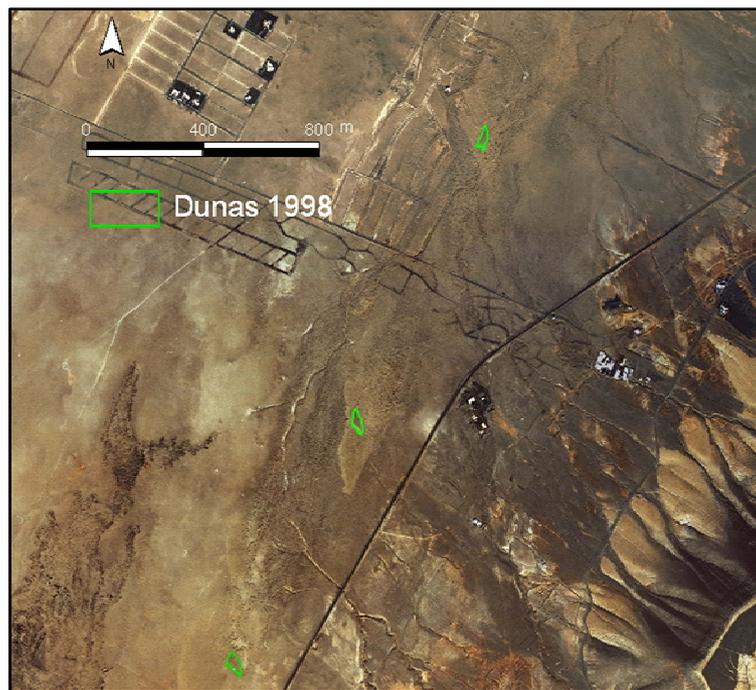


Figura 9: Contorno de las dunas barjanas en el año 1998.

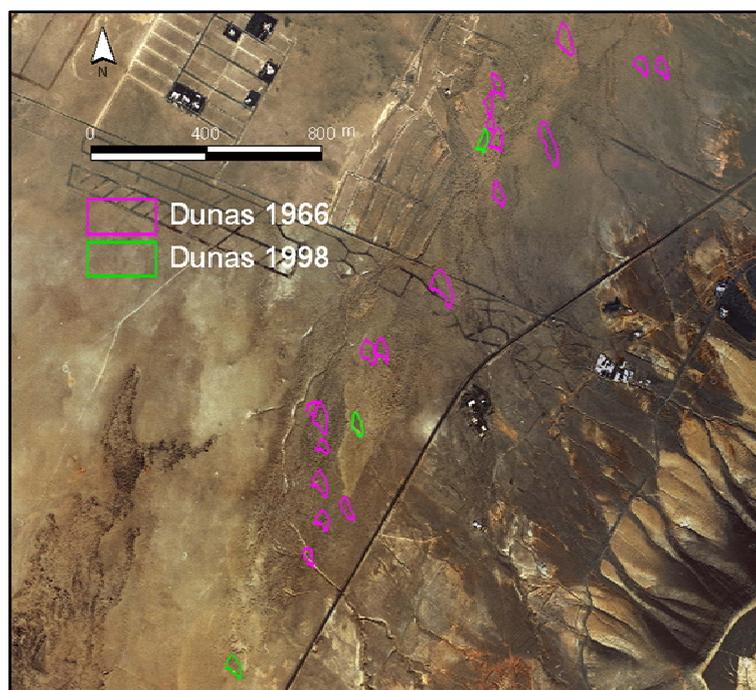


Figura 10: Evolución zona NE de El Jable desde 1966 a 1998. Se ha resaltado el contorno de las dunas.

#### 4.4. Análisis de fotografía aérea

La fotografía aérea de 1966 permite identificar dos grupos de dunas. El más importante contiene hasta 19 dunas, casi todas estaban separadas unas de otras aunque muy próximas entre sí y alineadas todas ellas siguiendo una dirección NNE-SSO (fig. 8). El segundo grupo está formado sólo por dos dunas y se localiza a unos 2 km al SSO del anterior.

Por el contrario, en la fotografía de 1998 solo se identifican 3 dunas aisladas y alineadas en dirección NNE-SSO, distanciadas entre sí aproximadamente 1 km. (fig. 9), cuya situación coincidiría con la del grupo más numeroso de 1966. En la figura 10 están posicionadas las dunas de 1966 sobre la fotografía aérea de 1998.

### 5. DISCUSIÓN

Los resultados expuestos y los antecedentes descritos permiten afirmar que sin duda alguna la fotografía de 1966 muestra una situación intermedia entre el inmenso campo dunar que describió Hernández Pacheco en el año 1907, cuya extensión abarcaba desde la Bahía de Penedo en el norte, hasta la costa sur, y la situación actual, en la que la zona de El Jable no es más que una zona llana recubierta por sedimentos de orígenes variados (Cabrera et al, 2005), y cuya potencia es de apenas unos centímetros en gran parte de la zona.

En 1966 el campo de dunas ya no era continuo sino que estaba formado por dunas aisladas, de modo que el movimiento y la dinámica que presentasen seguramente era análoga a la que presentan las tres dunas que quedan hoy día.

Asumiendo que el régimen de vientos no ha cambiado en el último siglo, los 0.061 m/día de transporte neto que se ha medido a lo largo del año equivalen a 22.3 m/año. Por tanto, sería preciso un periodo superior a 800 años para que las arenas del extremo norte atravesaran de modo natural los 18,5 km de amplitud de la isla (recorrido desde la Playa de Famara hasta las playas del sur). Es evidente que no ha transcurrido tanto tiempo, pues en el plazo de apenas un siglo el extenso campo dunar ha ido desapareciendo hasta quedar reducido a apenas tres dunas. Ello nos lleva a recurrir a otro tipo de causas que

puedan haber contribuido a acelerar el proceso, entre las que pueden apuntarse las siguientes:

- Reducción de aportes marinos, ya que se sabe que en la actualidad la plataforma adyacente a la Bahía de Penedo presenta un fondo rocoso con escasos bancos de arena (Ministerio de Medio Ambiente, 2002).
- Pérdidas naturales por la costa sur causadas por la erosión eólica del sedimento superficial.
- Pérdidas ocasionadas por actividades extractivas para la construcción y usos agrícolas.
- Existencia de pantallas en el extremo norte de este corredor de arenas eólicas (urbanización Las Laderas, pueblo de Caleta Famara y carretera de acceso).

## 6. CONCLUSIONES

Los vientos predominantes en la zona de estudio son de componente NNE siendo los que controlan la dirección del transporte del sedimento superficial de El Jable. Estos vientos presentan una marcada variabilidad estacional, presentando entre los meses de octubre y febrero una variabilidad direccional acusada.

Las tres dunas barjanoides existentes en la zona presentan una tasa media de transporte neto durante los dos años de recogida de datos de 0.061 m/día hacia el SSO. Sin embargo, este valor no es homogéneo a lo largo del año sino que presenta una fuerte estacionalidad como resultado de la variabilidad del viento. Desde mayo hasta septiembre los vientos constantes del NNE determinan las mayores tasas de transporte (0.129 y 0.131 m/s para 2003 y 2004 respectivamente). Entre octubre y febrero el viento es más variable tanto en dirección como en intensidad, presentando una componente sur significativa y coincidiendo con las tasas mínimas de transporte neto.

Teniendo en cuenta los antecedentes relatados de finales del siglo XVIII y principios del XIX y la evolución reciente desde 1966 a 1998, se puede concluir que el campo dunar de El Jable ha ido desapareciendo sistemáticamente. Esto puede deberse a la disminución de entradas de material marino en la zona de

estudio, a que el manto eólico existente se ha ido erosionando y disminuyendo su potencia y a la intervención antrópica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara-Carrió J (2003). Dinámica sedimentaria eólica en el istmo de Jandía (Fuerteventura). Modelización y cuantificación del transporte. Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria, 288 pp.
- Alcántara-Carrió J y Alonso I (2000). Propuestas metodológicas para el estudio de los ambientes eólicos costeros actuales. En: J.R. de Andrés y F.J. Gracia (eds). Geomorfología litoral. Procesos activos: 81-92.
- Alonso Zarza AM y Silva PG (2002). Quaternary laminar calcretes with bee nests: evidences of small-scale climatic fluctuations, Eastern Canary Islands, Spain. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 178:119.
- Anguita F y Hernán F (2000). The Canary Islands origin: a unifying model. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 103: 1-26.
- Cabrera L, Alonso I y Alcántara-Carrió J (2005). Caracterización Sedimentológica de "El Jable", Lanzarote. En: L. Hernández, I. Alonso, J. Mangas y A. Yanes (eds.) *Tendencias actuales en Geomorfología Litoral*: 137-141.
- Cabrera L, Alonso I y Alcántara-Carrió J (2006). Spatial changes in surface sediments derived from the different sediment sources and land uses at "El Jable" (Lanzarote, Spain). *Journal of Coastal Research. Spec. Iss.* 48: 28-34.
- Carracedo JC y Rodríguez Badiola E (1993). Evolución geológica y magmática de la isla de Lanzarote (Islas Canarias). *Revista de la Academia Canaria de las Ciencias*, 5 (núm.4): 25- 58.
- Criado C (1987). Evolución geomorfológica y dinámica actual del jable de Corralejo (Fuerteventura. Islas Canarias). *Revista Geográfica de Canarias*, 2: 29-52.
- De León J, Robayna MA y Perera MA (1990). Aspectos arqueológicos y etnográficos de la comarca del Jable. En: *II Jornadas de Historia de Lanzarote y Fuerteventura*. Ed. Excmo. Cabildo Insular de Lanzarote II: 284-319.
- Díaz G y Hernández L (2004). Análisis de la evolución de las superficies de deflación eólica en la playa de El Inglés (Gran Canaria, Islas Canarias) mediante técnicas de fotointerpretación y teledetección (1960-2002). En: Conesa, C., Álvarez, Y. y

- Martínez, J.B. (Eds.), Medio Ambiente, recursos y riesgos naturales. Análisis mediante tecnología.
- Hernández, L. (2002). Análisis de la evolución del sistema de dunas de Maspalomas, Gran Canaria, Islas Canarias (1960-2000). Tesis Doctoral, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 408 pp.
- Hernández-Pacheco, E. (2002). Por los campos de lava. Ed. Fundación César Manrique, 337 pp.
- Marinoni L.B. y Pascuaré G. (1994). Tectonic evolution of the emergent part of a volcanic ocean island: Lanzarote, Canary Islands. *Tectonophysics*, 239, 111-138.
- Meco, J. (2003). Paleoclimatología de Lanzarote y La Graciosa. Ed. Patrimonio Histórico del Cabildo de Lanzarote, 83 pp.
- Ministerio de Medio Ambiente (2002). Estudio ecocartográfico del litoral de las islas de Lanzarote, Graciosa y Alegranza (Las Palmas). Dirección General de Costas.
- Ojeda Zujar, J. Malvárez García, G.C. y Vallejo Villalta, I. (2005). Morphometric Evolution of the Active Dunes System of the Doñana National Park, Southern Spain (1977-1999). *Journal of Coastal Research* . Vol. 49. Pag. 40-45.
- Perera, F. M. (2004). Aportación al problema de El Jable a principios del siglo XIX. En: X Jornadas de Historia sobre Lanzarote y Fuerteventura. Ed. Cabildo Insular de Lanzarote y Cabildo Insular de Fuerteventura I: 205-212.

## **LAS ROCAS ORNAMENTALES DE LAS ISLAS CANARIAS**

Ismael Solaz Alpera

Geólogo Consultor. E-mail: ismaelsolaz@hotmail.com

### **INTRODUCCIÓN**

Se puede definir roca ornamental o piedra natural como un producto industrial utilizado en construcción por sus cualidades estéticas y propiedades físico-mecánicas, esencialmente como elemento accesorio, decorativo o de recubrimiento, y en menor grado como elemento de sostenimiento.

Usualmente se clasifican las rocas ornamentales en tres grupos: granitos, mármoles y pizarras, si bien estos incluyen diferentes grupos petrológicos (Tabla 1)

La definición normativa de granito (UNE.22.170-85) destaca, además de su naturaleza composicional y genética caracterizada por rocas ígneas, que se explotan en forma de bloques de naturaleza coherente y se utilizan en la construcción para decoración, aprovechando sus cualidades estéticas, una vez elaboradas, con procedimientos tales como aserrado, pulido, tallado, esculpido, etc.

Para los mármoles y calizas ornamentales, la norma UNE.22180-85 la aplica al conjunto de rocas constituidas fundamentalmente por minerales carbonatados, tanto de origen metamórfico, sedimentario de precipitación química y organógena.

En cuanto a las pizarras, la norma UNE.22.190-85 se refiere a las rocas metamórficas de grano fino que presentan una exfoliación característica debida a la orientación planar de sus componentes minerales, que constituye su esquistosidad

En resumen, a parte de definiciones más o menos técnicas, las rocas ornamentales o Piedra natural ha de poseer las siguientes características esenciales:

- Capacidad de ser extraída en bloques dimensionados
- Poseer una composición mineralógica y textura que le otorgue unas propiedades químicas y físicas que asegure su compacidad y durabilidad después de ser transformadas.
- Poseer unas cualidades estéticas especiales

GRUPOS ORNAMENTALES	GRUPOS LITOLÓGICOS	SUB-GRUPOS
GRANITOS	Rocas ígneas	Plutónicas
		Volcánicas
		Filonianas y subvolcánicas o hipoabisales
	Rocas metamórficas	Gneises y migmatitas
MARMOLES	Rocas sedimentarias	Carbonatadas
		Detríticas
		Precipitación química
		Evaporíticas
	Rocas metamórficas	Mármoles
PIZARRAS	Rocas metamórficas	Pizarras, esquistos, cuarcitas

Tabla 1: Clasificación de las Rocas Ornamentales

## 1. CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS ÍGNEAS ORNAMENTALES

Dado que las rocas ornamentales de origen volcánico se integran en este grupo, se describe a continuación las características que lo definen.

En cuanto a la naturaleza de las rocas ígneas ornamentales, apenas un 10% de las rocas volcánicas son empleadas como rocas ornamentales, mientras que las plutónicas representan el 85%. Las rocas filonianas, representan únicamente el 5% (Tabla 2).

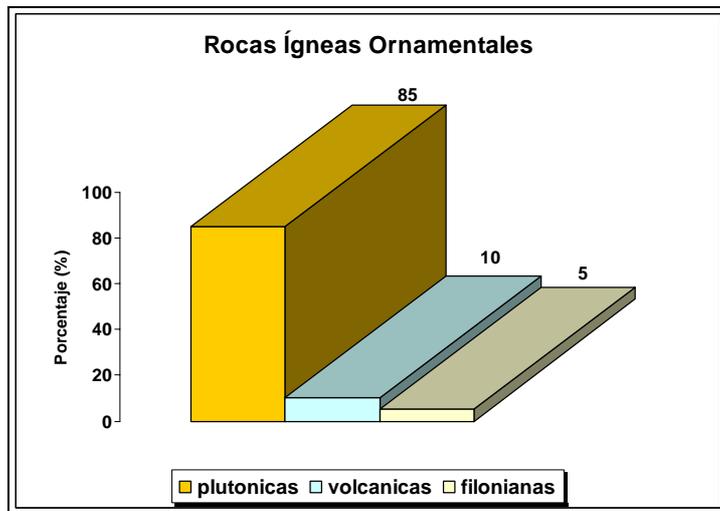


Tabla 2: Grupos de rocas ígneas ornamentales

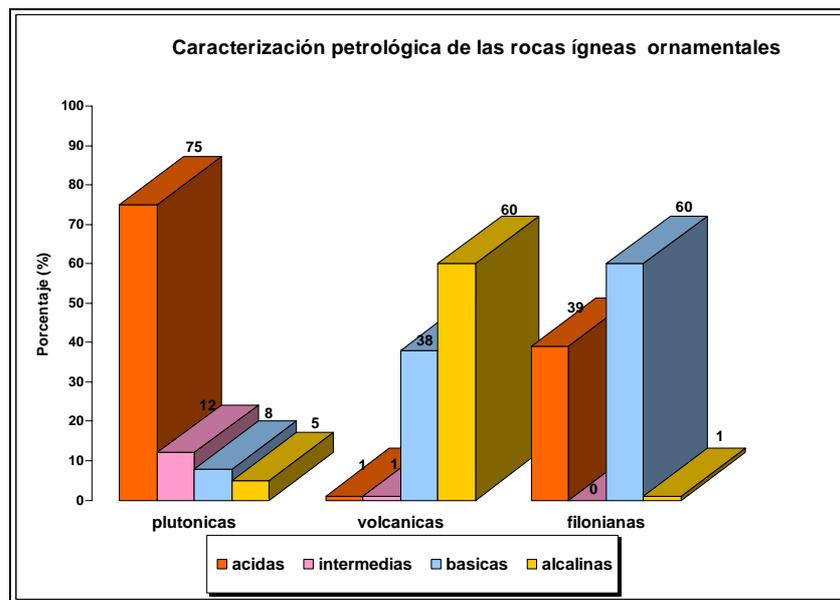


Tabla 3: Caracterización rocas ígneas ornamentales

Este contraste entre plutónicas y el resto se debe a que las condiciones de yacimiento de las rocas volcánicas y filonianas son poco favorables para la

extracción de bloques dimensionados por el alto grado de fracturación general, aunque la morfología en las volcánicas (coladas y cuerpos tabulares subhorizontales) sí lo sea.

Por su composición química, las rocas ígneas ornamentales son esencialmente de carácter ácido (tabla 3), en especial las rocas plutónicas, las más difundidas dentro del mundo de los “granitos ornamentales”.

En relación con las rocas metamórficas incluidas comercialmente en el grupo de los granitos ornamentales, son básicamente gneises, migmatitas y anatexitas de composición granítica, y en mucho menor grado cornubianitas y corneanas, características del metamorfismo de contacto. También, y como rareza por la escasez de variedades, ciertas cuarcitas capaces de ser extraídas en bloques dimensionados son incluidas en los granitos ornamentales.

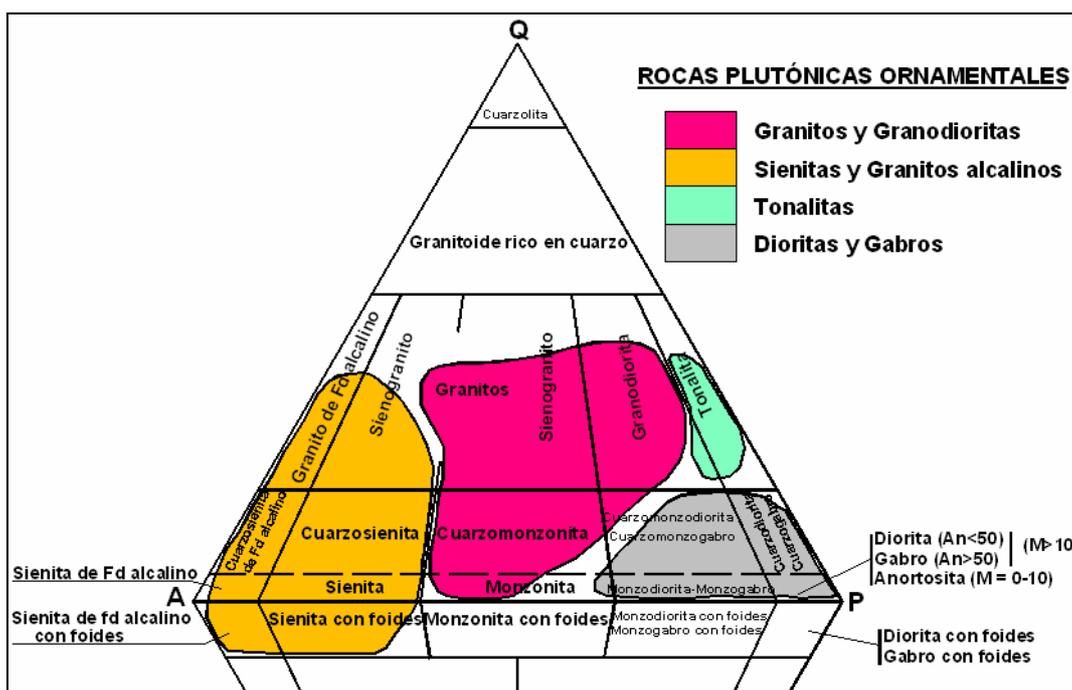


Tabla 4: Representación de los grupos de rocas ígneas ornamentales en diagrama ternario doble QAPF de clasificación de rocas plutónicas (Streckeisen, 1979)

Dentro del conjunto de rocas plutónicas las rocas ornamentales se pueden agrupar en cuatro grandes grupos (Tabla 4): granitos y granodioritas, sienitas y granitos alcalinos, tonalitas y, por último, dioritas y gabros.

En relación a las rocas volcánicas, cuatro son también los grupos más comunes (Tabla 5): riolitas y dacitas, traquitas, basaltos y fonolitas.

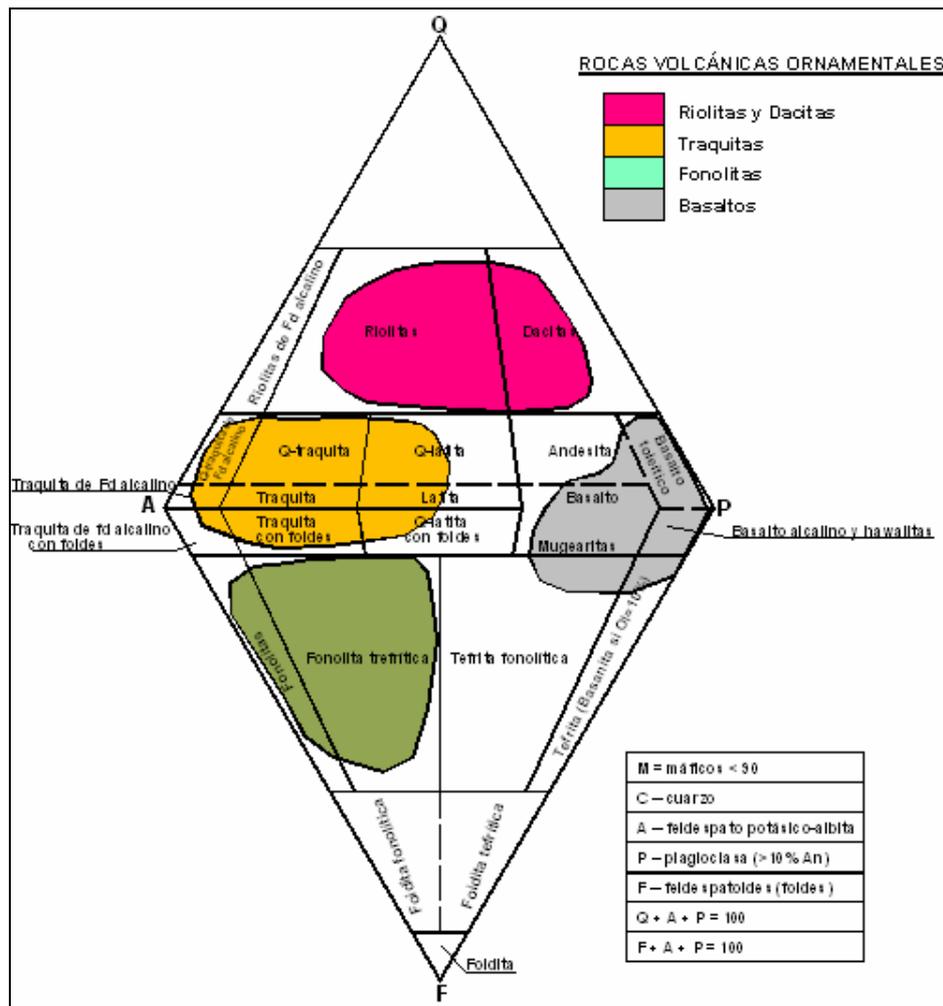


Tabla 5: Representación de los grupos de rocas volcánicas ornamentales en diagrama ternario doble QAPF de clasificación de rocas volcánicas lávicas (Streckeisen, 1979)

Además de su naturaleza, y en relación con su proceso de formación, las rocas volcánicas pueden clasificarse en:

- Rocas fragmentales o piroclásticas, formadas en procesos de emisión y explosión aérea de magma, depositadas en la superficie en forma de fragmentos. Se denominan “tefras” a aquellos depósitos piroclásticos no consolidados.
- Rocas lávicas o desarrolladas por solidificación de un magma en condiciones superficiales (coladas), tanto en el aire como en el agua del mar.

En el conjunto de las rocas volcánicas ornamentales nos encontramos rocas piroclásticas consolidadas de naturaleza basálticas, riolítica y traquítica. Los piroclastos basálticos son generalmente tuffs de lapilli a brechas, mientras que los piroclastos ácidos y alcalinos se presentan en forma de tuffs de ceniza o ignimbritas, que incluyen fragmentos brechoides (Tabla 6).

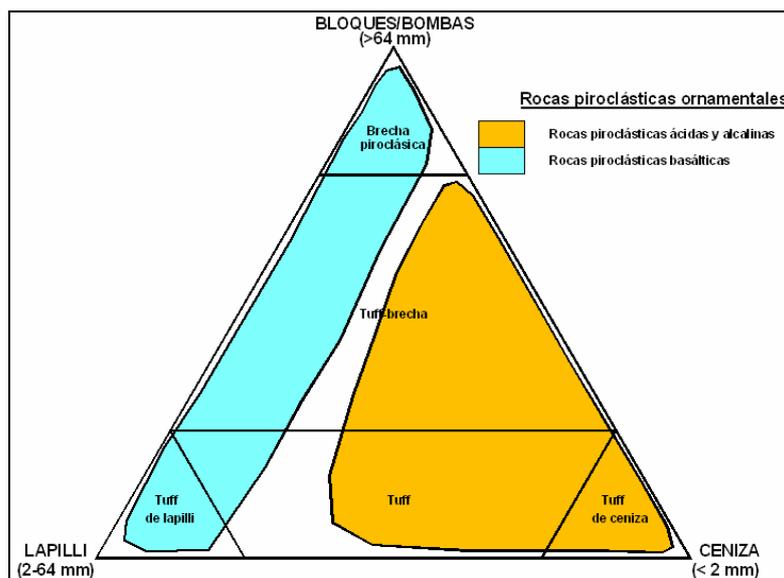


Tabla 6: Representación de los grupos de rocas volcánicas piroclásticas ornamentales con mala granoclasificación (modificado de Fisher y Schmincke, 1984)

Las subvolcánicas o hipoabisales, formadas a escasa profundidad, y de morfología tabular (diques, sills, filones, lacolitos, lopolitos, etc.), tienen

características intermedias entre plutónicas y volcánicas, encajadas en rocas sedimentarias, metamórficas o ígneas preexistentes.

Se pueden clasificar en subvolcánicas máficas, de composición basáltica, y félsicas, de composición granítica (riolítica). Las variedades ornamentales más comunes son diabasas, pórfidos y granófidios.

Por su condición de rocas asociadas a diques y venas, las pegmatitas y aplitas, podrían incluirse en un grupo equivalente, rocas ornamentales filonianas, aunque por su origen se asociarían a rocas plutónicas (Tabla 7).

Rocas Subvolcánicas o Hipoabisales	Máficas	Diabasas
		Lamprófidios
Félsicas	Félsicas	Pórfidos
		Granófidios
Filonianas plutónicas	Ácidas	Pegmatitas
		Aplitas

Tabla 7: Rocas ornamentales subvolcánicas y filonianas

Las variedades ornamentales más representativas de este grupo son las diabasas, con litotipos negros de grano fino de gran valor ornamental, y las pegmatitas.

## 2. CARACTERIZACIÓN ESTÉTICA DE LAS ROCAS ÍGNEAS ORNAMENTALES

Desde el punto estético, las rocas ígneas ornamentales se caracterizan por ser, en su gran mayoría, rocas susceptibles de ser pulimentadas, alcanzando un gran brillo. Algunas rocas, ya por estar formadas por minerales de gran diferencia de dureza o por haber estado sometidas a procesos de alteración

superficial (meteorización) o hidrotermal (p.e. episienitización), pueden presentar baja o nula calidad de pulido.

Colorativamente son muy diversas, predominando las de tonos claros (grises, beige, rosados, etc.) y cálidos, representando casi el 40% (Tabla 8). Las rocas de colores intensos, generalmente más apreciadas y de mayor valor económico, son más raras, en especial los granitos negros y blancos absolutos. Los granitos azules son los más difíciles de encontrar en el mercado, debido a la baja explotabilidad de sus escasos y limitados yacimientos, todo ello favorecido por su naturaleza alcalina que los hace muy alterables.

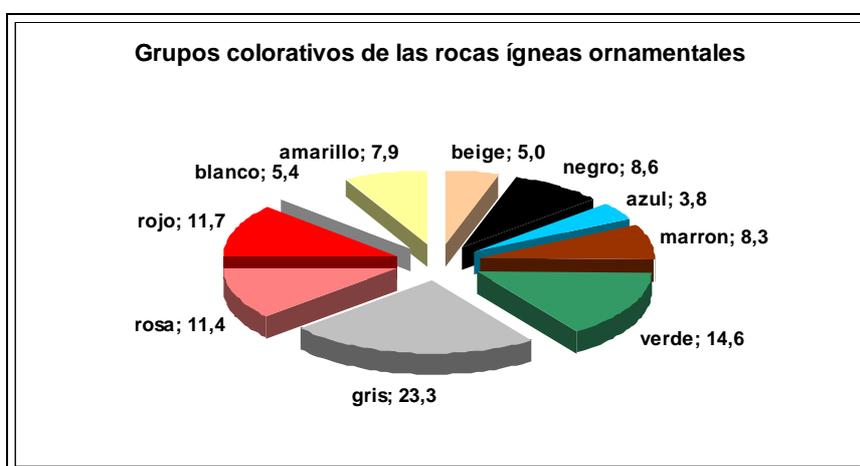


Tabla 8: Grupos colorativos

Textural y estructuralmente las rocas ígneas ornamentales presentan una tendencia mayoritaria al isotropismo estructural, es decir, predominan las rocas no bandeadas, aunque en las últimas dos décadas se han incorporado al mercado gran cantidad de rocas anisótropas (“granitos fantasía”), básicamente formadas por migmatitas y gneises. Las rocas volcánicas ornamentales, en especial las tobas e ignimbritas de composición alcalina, presentan fuerte anisotropía, marcada por flamas y restos de brechas orientadas. De igual modo, los piroclastos basálticos presentan fuerte anisotropía generada por los restos de bombas y brechas escoriáceas en una matriz de lapilli cementado más homogranular.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LAS ROCAS ORNAMENTALES DE CANARIAS

#### 3.1. Generalidades

Aunque la producción de rocas ornamentales en Canarias es muy reducida en relación con el resto de España, destaca por la singularidad de los materiales que en ella se extraen, las rocas volcánicas, y representa la única comunidad autónoma con producción de rocas de esta naturaleza, a excepción de la comarca catalana de La Garrotxa.

Un total de 24 explotaciones de rocas ornamentales, de las que apenas una decena poseen producción actualmente, conforman el inventario minero. Sin embargo la tradición constructiva, que empleó las “piedras de canto” y “toscas” como sillares, ha desperdigado por todas las islas pequeñas explotaciones.

Isla	Nº de explotaciones
El Hierro	0
La Palma	1
La Gomera	1
Tenerife	7
Gran Canaria	9
Fuerteventura	5
Lanzarote	1
TOTAL	24

Tabla 9: Explotaciones de rocas ornamentales en Canarias

Así, en el marco canario, se puede diferenciar dos grandes grupos de rocas ornamentales:

- aquellas que proceden de la explotación de pequeñas canteras o “rascaderos”, trabajadas con técnicas artesanales, destinadas a obtener sillares y mampostería, utilizadas tanto en la arquitectura

popular como para edificios nobles, y también explotaciones de rocas destinadas a paredes y muros.

- aquellas de las que se obtienen bloques dimensionados de varios metros cúbicos, explotadas con maquinaria de tecnología avanzada, y que son procesadas en plantas industriales para obtener aplacados y solerías, y piezas especiales, tanto de recubrimiento como decoración.

Como ya se ha indicado, en las islas Canarias, prácticamente la totalidad de las explotaciones de rocas ornamentales se corresponden con rocas volcánicas. A gran distancia se sitúan las rocas plutónicas.

### **3.2. Rocas Plutónicas**

Aunque existen rocas de esta naturaleza en La Palma, La Gomera, Gran Canaria y Fuerteventura, es en esta última isla donde se encuentran las dos únicas explotaciones, hoy abandonadas, de rocas plutónicas. Ambas explotaciones están asociadas al Complejo Basal de la isla de Fuerteventura.

Dentro de los grupos de rocas plutónicas ornamentales antes definidos, únicamente están representados los grupos de “sienitas y granitos alcalinos” y el de “dioritas y gabros”.

Una explotación de sienita se localiza en enmarca en el Complejo Circular de Vega de Río Palmas, dentro de las Formaciones sálicas recientes (Serie Plutónica IV) de Fuerteventura. Son rocas alcalinas, de color gris azulado claro, granudas equigranulares de grano fino a medio, y poseen un contenido algo elevado de minerales ferromagnesianos y presentan ceolitas y analcima pseudomorfizando a nefelina. La cantera, hoy abandonada, no tuvo gran desarrollo como roca ornamental debido, además de la alta fracturación que presenta el único frente de explotación, por la dificultad de pulimento. Este hecho se debe esencialmente a los procesos de alteración de los minerales alcalinos que contiene. Estas sienitas fueron destinadas a la elaboración de adoquines y otras piezas de mampostería, como puede verse en el casco urbano de Betancuria.

El grupo de las “dioritas y gabros” ornamentales está representado por el “Gabro de Betancuria”. La explotación de gabro se localiza en el mismo casco

urbano de Betancuria. Se trata de gabros alcalinos, asociados a la intrusión del plutón Gabroide de Betancuria, dentro de la Serie Plutónica III del Complejo Basal. Son rocas melanócratas, muy heterogéneas, con frecuentes cambios de grano medio a grueso y bandeados magmáticos (layering). A escala mesoscópica destaca por una matriz de grano variable, formado por los piroxenos y anfíboles y plagioclasa, matriz atravesada por innumerables venas leucocráticas que conforman a esta roca ornamental dentro de los granitos anisótropos.

Estos gabros admiten buen pulimento y fueron aplicados a la producción de solería y aplacados, como puede verse en alguna fachada del casco urbano de Puerto del Rosario.

A escala del todo el archipiélago, el potencial de rocas plutónicas ornamentales de Canarias está reducido a este Complejo Basal de Fuerteventura, y con grandes limitaciones, dado la gran inhomogeneidad que presentan los gabros, y la intensa red de diques que lo atraviesan.

### **3.3. Rocas Volcánicas**

Como ya se ha reseñado, las rocas volcánicas son el grupo petrológico en el que se fundamenta la producción de roca ornamental de Canarias.

En relación con los grupos de rocas ornamentales, los yacimientos y explotaciones se encuadran especialmente en el grupo de las “traquitas” y los “basaltos”, y en un segundo grado, en el grupo de las “fonolitas” y en el de “riolitas y dacitas”.

Según su proceso de formación, cabe destacar el predominio de rocas piroclásticas sobre las rocas procedentes de coladas de lavas.

#### **3.3.1. Rocas piroclásticas**

Dentro de las rocas piroclásticas o volcanoclásticas se pueden agrupar en dos grupos: piroclastos consolidados e ignimbritas

Los piroclastos consolidados, explotados como roca ornamental, se corresponden con la gran mayoría canteras donde se extrae o se extrajo las denominadas “piedras de canto” o “toscas”. Son de composición esencialmente basáltica (piroclastos basálticos), y en menor medida composición ácida. En cuanto a su coloración y textura, predominan los tonos rojizos, marrones,

amarillentos-dorados y negruzcos, relacionados con procesos de alteración de los minerales ferromagnesianos a minerales arcillosos. La única explotación de la que se obtienen bloques dimensionados es Montaña Bermeja, en las proximidades de Tefía, en Fuerteventura. Aquí se extraen bloques de tamaño superior a 4 m<sup>3</sup> de un piroclasto de color rojo teja, muy poroso. Este yacimiento se enmarca dentro del volcanismo de la Serie II del vulcanismo de Fuerteventura, en el que se formaron estructuras volcánicas caracterizadas por un edificio central en forma de cono de piroclastos. Las lavas y piroclastos de Montaña Bermeja se caracterizan por su composición olivínica y olivínica-augítica, con marcado carácter porfiroide e hipocristalinas. Mesoscópicamente la roca destaca por una matriz roja formada por clastos de rojizos, que engloban restos de bombas y escorias de color gris oscuro.

La explotación se desarrolla en dos bancos y la extracción se realiza tanto con rozadora de brazo como con hilo diamantado. La “piedra roja Bermeja” se comercializa a escala de archipiélago y peninsular en forma de aplacados, tanto de interior como exterior.

Además de Fuerteventura, el resto de explotaciones de rocas piroclásticas consolidadas se distribuyen principalmente por Tenerife, Gran Canaria y La Gomera. En esta última isla, se produce una roca piroclástica de color rojizo, conocida como “piedra roja de La Gomera”, compuesta por escorias, fragmentos líticos y lapillis envueltos en una matriz cinerítica de composición basáltica. Se asocia a piroclastos de la Serie Basáltica Sub-reciente del vulcanismo de La Gomera. La explotación se realiza en bancos bien desarrollados, de los que se obtienen bloques dimensionados de tamaño comercial.

Los yacimientos de rocas piroclásticas ácidas se reducen a la extracción de pequeños bloques para sillar o piedra de canto. Muchas veces las explotaciones de estas rocas se han combinado con la producción de puzzolanas para la industria cementera. Son rocas de colores claros, blancos, cremas a amarillentos. Los yacimientos de Tenerife (Arico, Granadilla de Abona, Fasnía, etc.) son principalmente tobas formadas por cantos poligénicos sálicos y pumíticos. En ocasiones constan de fragmentos de pómez cementados, sin apenas matriz y con escasos fragmentos rocosos. Los yacimientos de Gran Canaria (Barranco de San Lorenzo) se corresponden con tobas de tipo “ash and pumice”, bastante masivos, que llegan alcanzar hasta 20

metros de potencia, con abundante porcentaje de pómez de composición fonolítica.

Isla	Yacimiento	Petrología	Variedad ornamental
La Gomera	San Sebastián de La Gomera – Cantera Las Toscas-Vegaipala	Piroclastos basálticos cementados rojos	Piedra roja de La Gomera
Tenerife	Arico – El Grillo	Tobas puzzolánicas blancas	Piedra de canto blanca
	Granadilla de Abona – Chimiche (Paraje Los Cármenes)	Tobas puzzolánicas blancas	Piedra de canto blanca
	Granadilla de Abona. - Chimiche, (Paraje Malpasito-Llano del Barco)	Tobas puzzolánicas blancas	Piedra de canto blanca
	Santa Cruz de Tenerife – Cueva Bermeja-Los Pasitos	Piroclastos basálticos cementados rojos, Serie I	Piedra tosca roja
Gran Canaria	Las Palmas de GC – San Lorenzo	Piroclastos basálticos cementados blancos	Piedra de canto blanca
	Gáldar – Canteras de La Atalaya	Piroclastos basálticos cementados cremas y rojizos	Piedra “Canto de Gáldar”
Fuerteventura	Puerto del Rosario –Tefía (Montaña Bermeja)	Piroclastos basálticos cementados rojos	Piedra roja Bermeja
	Puerto de Rosario - Tetir	Piroclastos basálticos cementados rojos	Piedra de canto rojo

Tabla 10: Principales yacimientos de rocas piroclásticas ornamentales de Canarias

El potencial de rocas piroclásticas consolidadas en Canarias, aún cuando están presentes en todas las islas, está muy limitado en la mayoría de los casos a la producción de piedras de sillar, toscas o “piedra de canto”. Es necesario que el grado de consolidación sea muy alto para poder extraer

bloques comerciales y que puedan ser aserrados en tableros de 2 a 3 cm. de espesor, condición que limita su interés en la mayoría de los yacimientos.

Las ignimbritas y brechas ignimbríticas suponen el 90% de la producción de roca ornamental de Canarias, si bien sus explotaciones activas se localizan únicamente en Gran Canaria y Tenerife.

Destaca el yacimiento de tobas y brechas ignimbríticas de Arucas, conocida como Piedra de Arucas, cuyo litotecto se localiza en el norte de la isla de Gran Canaria. Los antecedentes de su utilización se remonta al siglo XVI, extraída en canteras, hoy englobadas por el casco urbano de Arucas, y que constituye la roca ornamental más difundida de todas las islas.

La Piedra de Arucas se explota en dos yacimientos, el Lomo de Tomás de León y el Barranco de Rosa Silva, donde se ubica la explotación activa más importante de Canarias con producciones de bloques del orden de 400 m<sup>3</sup>/mes.

El litotecto de la brecha ignimbrítica de Arucas se encuentra subordinado entre dos coladas fonolíticas de la Formación Fonolítica del Ciclo I del vulcanismo de Gran Canaria. La potencia observada es variable, entre 10 y 60 metros, presentando una disyunción columnar grosera y un color que fluctúa entre tonos grises verdosos a grises marronáceos, hacia el techo del paquete. En el yacimiento del Barranco de Rosa Silva la Piedra Arucas es color más oscuro y más calidad en sus propiedades físico-mecánicas, variedad que se denomina comercialmente "Piedra Azul Arucas". El grado de fracturación medio a bajo, permite la obtención de bloques de más de 5 m<sup>3</sup>.

El afloramiento de Tomás de León, si bien constituyó la única fuente de suministro industrial hasta el año 2001, actualmente su producción se destina predominantemente a la ejecución de moldureo y obras de restauración.

Intercalado entre los paquetes de esta cantera se encuentra otra roca brechoide de color crema claro y con abundantes clastos poligénicos, conocida como "Piedra de La Fula", utilizada también tradicionalmente en trabajos de cantería.

Sobre este litotecto de brechas ignimbríticas del norte de la isla de Gran Canaria se ha desarrollado otras explotaciones importantes como es la cantera Las Mojas en Cabo Verde, dentro del término municipal de Moya. Conocida como "Piedra de Moya" o "Marrón Las Monjas", variedades ornamentales muy comercializadas en todas las islas. Con aplicaciones muy semejantes a las

anteriores, el yacimiento presenta dos paquetes de ignimbrita (uno marrón y otro grisáceo), niveles que se encuentran entre dos coladas fonolíticas.

Otro importante yacimiento de naturaleza ignimbrítica se localiza en el término de San Bartolomé de Tirajana, en el barranco de Ayagaures. En esta explotación se extraen ignimbritas riolítico-traquíticas pertenecientes a la Formación Fonolítica del Ciclo I del vulcanismo de Gran Canaria. El litotecto explotable se conforma por ignimbritas amarillas, anaranjadas y rojizas aflorantes en el sector más septentrional del barranco de Ayagaures. En la única cantera activa, cantera El Salvial, el litotecto explotable se compone de dos niveles de ignimbritas, el superior formado por ignimbritas amarillas, conocidas como “Amarillo Ayagaures”, cuyo espesor es del orden de 20 a 30 metros, mientras que el inferior está formado por ignimbritas anaranjadas con tránsitos laterales a rojizos (“Rojo y Naranja Ayagaures”), de otros 25 metros de potencia. En especial el tramo superior la roca presenta gran cohesión y puede ser extraída en bloques de más de 4 m<sup>3</sup>.

Otras muchas variedades de ignimbrita ornamental han sido explotadas, más o menos intermitentemente en Gran Canaria, como las variedades verdosas de los barrancos de Arguineguín y Puerto Rico, ignimbritas rojas y anaranjadas del barranco de Fataga, ignimbritas rojas del dominio intracaldera del barranco del Mulato y de la presa de Soria, así como las ignimbritas verdes del dominio intracaldera (“azulejos”) de la Finca de Tirma, en Artenara.

En la isla de Tenerife, dos son los yacimientos donde se producen ignimbritas soldadas. El más importante es la cantera de Guamarico, en el término municipal de Arico, donde se extrae la “Piedra marrón de Arico”, conocida tradicionalmente como “losa chasnera”, y la “Piedra gris de Arico”. Se trata de una ignimbrita brechoide formada por abundantes cantos poligénicos, deformados y estirados, flamas, en una matriz cinerítica de color marrón parduzco. La variedad grisácea presenta cantos blancos traquíticos, con fenocristales de feldespato, y otros de naturaleza vítrea y color negro, todo ello en una matriz cinerítica de color gris violáceo. La explotación se desarrolla en dos bancos principales de los que se obtienen bloques comerciales bien dimensionados.

En la localidad de Abades existe una pequeña explotación sobre un nivel visible de 3 metros de ignimbrita ocre-amarillento y grandes flamas de obsidiana, conocida como Piedra “Marrón de Abades”.

Isla	Yacimiento	Petrología	Variedad ornamental
Tenerife	Arico.-. Paraje Arocha- Los Alcaravanes (Cantera Guamarico)	Ignimbrita traquítica de cantos poligénicos , Serie II	Piedra marrón de Arico("Losa Chasnera)  Piedra gris de Arico
	Abades	Ignimbrita traquítica de flamas de obsidiana, Serie II	Piedra marrón de Abades
Gran Canaria	Arucas – Lomo Tomás de León	Tobas y brechas ignimbríticas (Fm.Fonolítica Ciclo I)	Piedra Arucas
	Arucas – casco urbano, La Goleta y El Cerrillo	Tobas y brechas ignimbríticas (Fm.Fonolítica Ciclo I)	Piedra Arucas
	Arucas – Cantera Rosa Silva y Cantera Corea	Tobas y brechas ignimbríticas (Fm.Fonolítica Ciclo I)	Piedra Azul de Arucas
	Arucas – La Fula	Brechas ignimbríticas (Fm.Fonolítica Ciclo I)	Piedra La Fula
	Moya – Cabo Verde (Cantera Las Monjas)	Tobas y brechas ignimbríticas (Formación Fonolítica Ciclo I)	Marrón Las Monjas  Gris Las Monjas
	San Bartolomé de Tirajana – Barranco de Ayagaures (Cantera El Salvial)	Ignimbritas riolítico traquíticas (Formación Fonolítica Ciclo I)	Amarillo Ayagaures  Rojo Ayagaures

Tabla 11: Principales yacimientos ignimbritas ornamentales de Canarias

### 3.3.2. Las rocas lávicas ornamentales

Dentro de este grupo se enmarcan todas las coladas de lavas asociadas al vulcanismo canario. En especial las rocas ornamentales lávicas se asocian a tres de los grupos referidos en la tabla 5: basaltos, fonolitas y traquitas.

Las explotaciones de basaltos ornamentales son escasas en relación con la gran profusión de coladas existentes. Tradicionalmente se han extraído de numerosos desmontes y aprovechados tanto para sillar como para mampostería rústica o muros y paredes. Sin embargo el empleo del basalto en plantas de aserrado industrial para la fabricación de aplacados y solerías está muy condicionado por la escasa productividad y pequeño tamaño de los bloques que se extraen en media docena de canteras. Así los bloques son generados por las juntas naturales, aprovechando su disyunción columnar y los planos de diaclasas.

La producción principal de basalto ornamental se localiza en la isla de Tenerife, en San Miguel de Abona, donde se extrae un basalto vacuolar, roca afanítica de color gris, donde las vacuolas constituyen más del 50% del volumen de la roca, de forma irregular y de menos de 1 mm de tamaño medio. Esta variedad responde a las denominadas “piedras molineras”. Otros yacimientos de basaltos vacuolares se encuentran en Montaña Taco, muy próximo a Santa Cruz de Tenerife, donde las vacuolas son alargadas y tiene más de 1 mm de tamaño medio.

En la isla de Lanzarote se explota intermitentemente en las inmediaciones de Teguise, una cantera de basalto vacuolar perteneciente a la colada del volcán de Timanfaya, que en este punto tiene un espesor de 1 a 1,5 metros. Esta capa se apoya sobre una capa de arenas eólicas blancas (jable) que facilita en gran medida la extracción de los bloques, comercializados como “piedra molinera” de Lanzarote.

Otra pequeña explotación de basalto masivo gris-negruczo se localiza en sur de la Palma, en el término de la Fuencaliente, con producción muy limitada.

Las fonolitas ornamentales son un grupo de rocas de muy alto valor estético, aunque su aprovechamiento minero hasta hace pocos años ha estado reducido a la producción de la denominada “piedra de laja”, en especial en pequeñas canteras y rascaderos del sur de la isla de Gran Canaria, en las proximidades

del aeródromo del Tarajalillo, término municipal de San Bartolomé de Tirajana, (Canteras del Berriel). Son fonolitas verdes pertenecientes a la potente Formación Fonolítica del Ciclo I y que son aprovechadas por su facilidad de fisibilidad que permite extraer “lajas” y bloques tabulares destinados a mampostería rústica y solería.

Sin embargo el mayor potencial de la fonolitas radica en el buen pulido que admite, que unido a su estructura brechoide de intenso color verde o marrón, le confieren un alto valor ornamental comparable al grupo de los “mármoles de serpentina”.

No existen hasta el momento explotaciones específicas de “fonolita serpentínica”, si bien ya se comercializan materiales procedentes de la Formación Fonolítica del Ciclo I de Gran Canaria, en especial de la zona de Arucas (Lomo Tomás de León) y de Cabo Verde, en Moya. Los bloques de fonolita son de aspecto irregular que recuerdan a los “rachones” de una cantera de pizarra, condicionados por la fisibilidad natural que le confiere su textura fluidal. De ellos se obtienen aplacados y solerías de 2 o 3 cm., destinados a ser pulidas o apomazadas, y de otra parte, adoquines y mampostería rústica.

Otro yacimiento singular lo constituyen las fonolitas nefelínicas de Montaña Amagro, en el término municipal de Gáldar. En ellas se obtiene dos variedades:

- “fonolita serpentínica marrón”, que representa la variedad más heterogénea, tanto en tonalidad como textura y estructura. En general predominan tonos marrones, entre los que aún pueden observarse elementos verdosos difusos. En cuanto a la estructura, es también muy variable: por un lado se dan variedades de aspecto brechoide aunque con los clastos subredondeados y diferenciados por el color marrón, y de otra parte, variedades de fondo marrón verdoso con manchas oscuras asociadas a la microfisuración. Así, el litotipo “serpentínico” podemos diferenciar dos subtipos ornamentales: litotipos marrón fantasía brechoides y litotipos marrón-verdoso. Ambas subvariedades presentan muy buenos acabados en pulido y apomazado.
- “fonolita negra” que corresponde con las fonolitas con fenocristales de nefelina. A diferencia del grupo anterior, son muy homogéneas a escala decimétrica, aunque presentan una clara anisotropía según la dirección de corte generado por el marcado flujo de los cristales de nefelina. En general, se caracterizan por una matriz vitrofídica de grano muy fino y de color negro a verdoso, con tonalidades marrones en los tramos más

alterados, y una trama de fenocristales de nefelina de color gris oscuro con reflexiones azules cuando no están alterados, a tonos blanquecinos en los ejemplares más meteorizados. La textura de esta nefelina viene marcada por agregados cristalinos de 1 mm. a 1,5 cm. formando haces irregulares orientados según el flujo primario de solidificación de la lava fonolítica. Este litotipo presenta muy buenas propiedades ornamentales ante procesos de pulido y flameado.

Por último, dentro del grupo de fonolitas hay que resaltar el potencial de algunos diques y pitones fonolíticos, en especial de Tenerife y Gran Canaria. Como ejemplo de estas formaciones, se tiene constancia de la existencia de una pequeña explotación de fonolitas hauyínicas en Lanzarote, término de Valleseco, cuya morfología responde a un dique-pitón asociado al Ciclo Roque Nublo. Aquí se extraen bloques aprovechando la disyunción columnar de una fonolita gris oscura, con abundantes fenocristales de feldespatoides y visibles anfíboles y piroxenos. La roca extraída se emplea en muros y paredes.

Por último, y en relación con las “traquitas ornamentales”, se incluye en este apartado los yacimientos traquíticos asociados a domos y pitones sálicos, del que el ejemplo más representativo de Canarias es el yacimiento de Montaña Tindaya, en el municipio de la Oliva, en Fuerteventura. Aún cuando la explotación de este yacimiento quedó bloqueada a partir de la aprobación de proyecto monumental de Eduardo Chillida, el aprovechamiento de las traquitas, conocidas como “Piedra de Tindaya”, es muy remoto, habiéndose localizado extracciones muy rudimentarias para la obtención de sillares. Ya a mediados del siglo XX se extrajeron bloques y sillares de traquitas rubefactadas en la ladera oeste de la montaña, y en entre los años 80 y 90 se desarrollaron tres explotaciones para la obtención de bloques dimensionados industriales. La piedra de Tindaya se caracteriza por su aspecto arenoso y tacto áspero, de matriz granuda, de grano fino a medio-fino, color gris blanquecino o amarillento, en la que apenas se distinguen pequeños cristales de feldespato potásico y contorno subredondeado. Los procesos de meteorización han generado los característicos “bandedados anulares” irregulares, de tonos más oscuros, constituidos por óxidos de hierro, que son los responsables, a escala mesoscópica, del característico dibujo de la Piedra de Tindaya

Se han reconocido dos litotipos ornamentales de Piedra de Tindaya, basados en caracteres texturales y morfología de los bandedados: la primera, una traquita gris amarillenta, más o menos tostada, homogranular de grano fino-

medio y más rica en cuarzo, donde el dibujo manifiesta gran complejidad, tanto en las formas como en la distribución colorativa. La segunda, una traquita gris, desde el gris perla a blanquecino, homogranular de grano muy fino, y cuyo dibujo presenta bandeados de baja complejidad, muy lineales.

Isla	Yacimiento	Petrología	Variedad ornamental
La Palma	Fuencaliente de La Palma – Cantera La Caldereta	Basaltos grises del Ciclo II	Piedra basáltica gris
Tenerife	San Miguel de Abona	Basaltos vacuolares de la Serie III	Piedra molinera
	Santa Cruz de Tenerife – Montaña Taco	Basaltos vacuolares de la Serie III	Piedra molinera
	Icod de los Vinos – El Riquel	Traqui-fonolitas grises oscuras	Piedra basáltica gris
Gran Canaria	Arucas – Lomo de Tomás de León	Fonolitas de la Fm. Fonolítica Ciclo I	Fonolita serpentínica
	Arucas – Lomo Rinquianez	Fonolitas de la Fm. Fonolítica Ciclo I	Fonolita serpentínica (laja verde)
	Moya – Cabo Verde	Fonolitas de la Fm. Fonolítica Ciclo I	Fonolita serpentínica
	San Bartolomé de Tirajana – Canteras del Berriel	Fonolitas de la Fm. Fonolítica Ciclo I	Fonolita serpentínica (laja verde)
	Gáldar – Sardina del Norte-Corralete (Montaña Amagro)	Fonolitas nefelínicas de la Fm Fonolítica Ciclo I	Fonolita serpentínica marrón Fonolita negra
	Valleseco – Lanzarote	Diques y pitones fonolíticos del Ciclo Roque Nublo	Piedra negra de Lanzarote
Fuerteventura	La Oliva – Montaña Tindaya – La Molina – El Tebeto	Traquitas y cuarzotraquitas Serie I	Piedra de Tindaya
Lanzarote	Teguise	Basaltos vacuolares de la colada de Timanfaya	Piedra molinera

Tabla 12: Principales yacimientos de rocas volcánicas lávicas ornamentales de Canarias

De ambas variedades se extraían bloques dimensionados grandes, en especial de la variedad más amarillenta, y de la se han realizado importantes obras públicas y privadas, tanto en Canarias como en la península y otros países de la Comunidad Europea.

También se conoce la existencia de otra variedad, aunque minoritaria, rubefactada, “Piedra roja de Tindaya”, extraída en una pequeña explotación para piedra de sillar y cuya coloración se debe a la tinción por óxidos de hierro procedentes de diques basálticos que la atraviesa.

El potencial de traquitas ornamentales está reducido a los pitones y domos presentes especialmente en Fuerteventura, aunque la intensa fracturación de los mismos reduce en gran medida su explotabilidad real.

#### **4. CONCLUSIÓN**

Se puede afirmar que el potencial minero en rocas ornamentales de las islas Canarias está, en gran parte, todavía por determinar, en especial para rocas de tipo ignimbrítico y colores rojizos, violáceos y marrónaceos, y amarillos y anaranjados de otra parte. En cuanto a los basaltos ornamentales, aún no se ha localizado un yacimiento cuya productividad y tamaño de los bloques sea comparable a otros grandes yacimientos. Las fonolitas pueden constituir en años venideros una de las rocas ornamentales más importantes de Canarias, ya que la gran entidad de sus coladas, tanto en la Gran Canaria como en Tenerife, pueden llegar a desarrollar explotaciones de rentabilidad controlada y de alto valor ornamental de los materiales que se ellas se extraigan.

## **Impacto del Polvo Sahariano en los Suelos de Gran Canaria**

Inmaculada Menéndez González

Departamento de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. E-mail: imenendez@dfis.ulpgc.es

### **INTRODUCCIÓN**

En la atmósfera terrestre se genera, debido al movimiento de sus masas de aire, una de las mayores vías de transporte de material particulado. De hecho, por este medio se transfieren, a nivel mundial, algunos miles de toneladas al año (Andreade, 1995; Duce, 1995; Prospero, 1996). Sin embargo, no todas las superficies terrestres presentan igual disponibilidad de material factible a entrar en este transporte eólico. Las más predispuestas son las que ocupan los desiertos. Se destaca entre ellos, por ser el mayor, el del Sahara (unos 4.640.000 km<sup>2</sup>). El polvo atmosférico procedente de esta región hiperárida afecta, como cabe esperar, a áreas adyacentes, llegando incluso su influencia a zonas miles de km separadas de esta fuente (Yaalon, 1987; Herrmann et al., 1996; Loÿe-Pilot y Martin, 1996; Prospero, 1996). En este sentido, el impacto del desierto del Sahara como generador de polvo eólico es determinante en el archipiélago canario, enclavado tan sólo a unos cientos de km de éste.

### **1. SENTEMOS LAS BASES: ORIGEN, TRANSPORTE Y DEPÓSITO DE LAS CALIMAS**

El material particulado inmerso en las masas de aire se denomina pluma de polvo. Las plumas de polvo atmosférico son transportadas siguiendo las trayectorias de las masas de aire que las generan y movilizan. En Canarias, las fuentes más habituales de estas masas de aire son la depresión de Bodélé (Al sureste del Chad) y la parte este de Mauritania – oeste de Mali – y sur de Algeria (Goudie y Middleton, 2001). Las trayectorias de las plumas de polvo atmosférico sahariano pueden ser directas del área fuente, procediendo

entonces del este o sureste, o pueden producir vórtices, más o menos amplios, que modifiquen radicalmente las masas de aire que llegan al archipiélago, tomando entonces orientaciones suroeste, oeste o incluso noroeste o norte (véase como ejemplo la Figura 1).

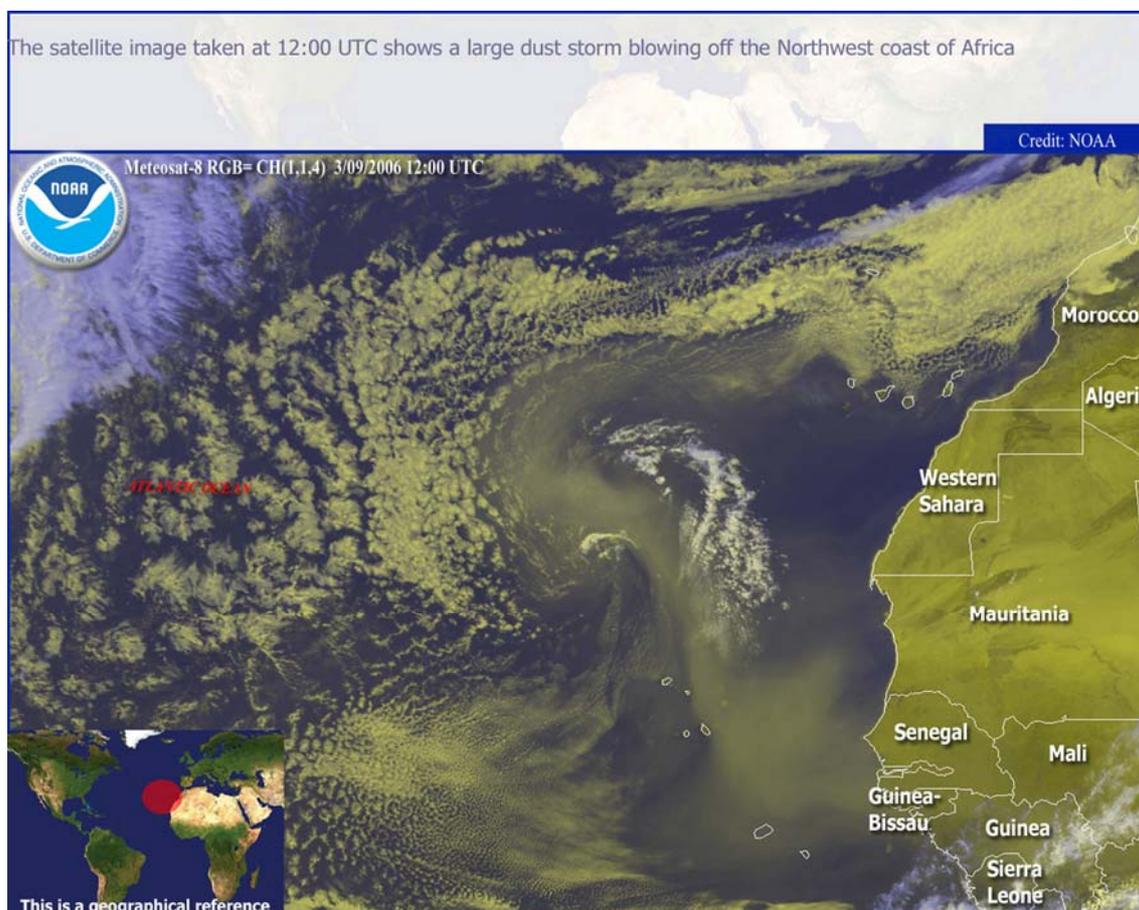


Figura 1: Imagen del satélite Meteosat tomada el 9 de marzo de 2006 y cedida por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, Departamento de Comercio de los Estados Unidos de América), en la que se observa una pluma de polvo sahariano que abandona el continente africano por Mauritania – Senegal - Guinea con rumbo inicial al oeste, ascendiendo por el Océano Atlántico hacia el norte – noroeste, con un posterior giro hacia el este, alcanzando las Islas Canarias con una entrada norte-noroeste.

La distribución de tamaño de partículas transportadas suele tener 2 modas, una en los limos gruesos y muy gruesos y otra en limos finos y muy finos (Donghuai et al., 2004; Menéndez et al, en prensa; véase Figura 2). No obstante, la distancia al área fuente y la concentración de material movilizado

condiciona el tamaño de partícula transportado. Por ejemplo, pueden encontrarse incluso en muestras de polvo atmosférico partículas de tamaño arena fina (Middleton et al., 2001). En cuanto la composición mineralógica del polvo atmosférico de procedencia sahariana hay que destacar los altos porcentajes de cuarzo presentes (45-55%) y menores cantidades de feldespatos, calcita, halita, óxidos y arcillas (Kiefert y Mc Tainsh, 1996; Pye, 1995; Goudie y Middleton, 2001; Menéndez et al, en prensa). De este modo, la predominancia de un mineral no formado en Canarias, el cuarzo, ya que no se encuentra en las rocas volcánicas propias de las islas, facilita el seguimiento de este polvo atmosférico importado al archipiélago (Caldas y Schwighofer, 1974; Mizota y Matsuhisa, 1995; Alcántara-Carrió, 2003; Criado y Dorta, 2003).

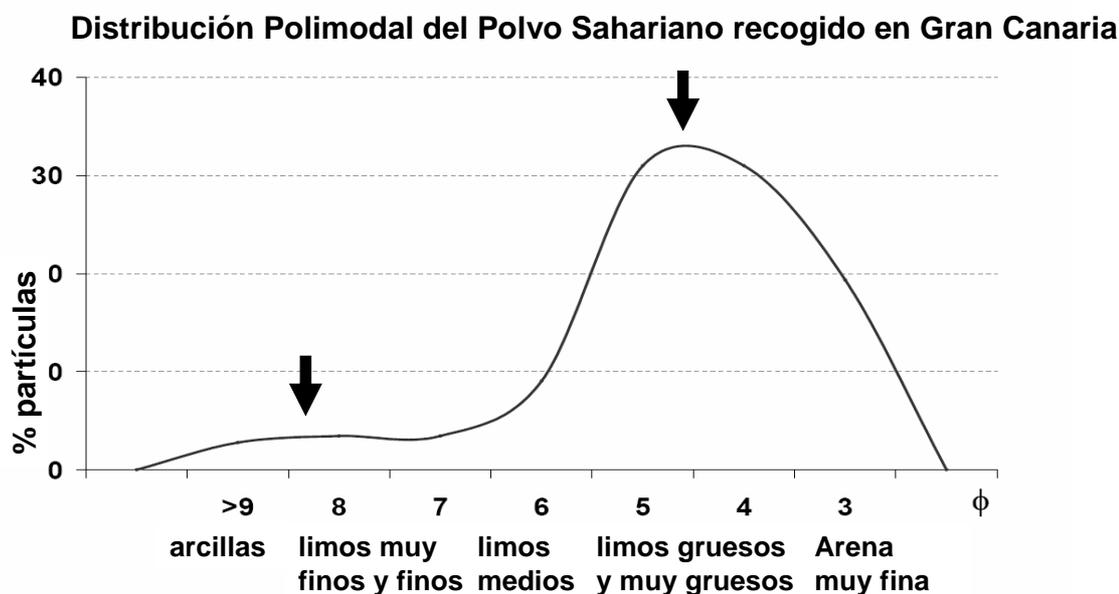


Figura 2: Distribución polimodal del tamaño de las partículas obtenido con un difractómetro laser (Coulter LS100) para las muestras de polvo sahariano de Gran Canaria.

Al interaccionar el transporte eólico con la superficie terrestre se va produciendo la sedimentación del polvo atmosférico. Cuando estos depósitos adquieren una entidad suficiente, se denominan loess (derivado del término alemán, löss, que significa suelto, desmenuzable). Pero aquí no acaba la historia de los loess, ya que siguen bajo la dinámica de los procesos

superficiales, reciclándose en el medio aluvial (movimientos de ladera), fluvial, y/o edáfica. Concretando, una definición reconocida de loess es la de Pye (1995) en la que los explica por un gran aporte eólico de partículas, tamaño limo, durante cientos o miles de años, en una área trampa de sedimentos. Este enorme aporte de sedimento lo cuantifica en posteriores trabajos en un umbral de 0.5 mm y<sup>-1</sup> (Pye y Sherwin, 1999). En el caso de no superar esos límites, los depósitos se denominan loessoides o pseudoloess.

Otras denominaciones de loess son por ejemplo las hechas por Obruchev (1945) que diferencia entre loess primarios (solo de procedencia eólica) y secundarios (redepositados por otros agentes). Dentro de los loess secundarios se definieron los loess retrabajados por los procesos coluviales o fluviales (Pye, 1995). Por otro lado, la edafización del loess se considera consustancial a su formación (Pecsi, 1990). En definitiva, los loess son depósitos sedimentarios complejos, principalmente de procedencia eólica pero con un pasado aluvial y/o fluvial y un futuro edáfico. Por ello, debido a su ecléctico origen, algunos autores optan a menudo por definir estos depósitos como de aspecto loessico (loess-like; Derbyshire, 1995; Nemezc et al., 2000; Jefferson et al., 2003; Hesse y Mc Tainsh, 2003; Danukalova and Eremeev, 2006).

Mencionar también la clásica discusión sobre los loess periglaciares, considerados como verdaderos, cuyo origen es la denominada harina glacial, con extensiones kilométricas y decenas de metros de espesor, por ejemplo gran parte de los loess chinos; y los loess peridesérticos (Coudé-Gaussen, 1987; Coudé-Gaussen, 1991), más o menos desconectados de las fuentes glaciares de limo y relegados a una segunda categoría de loess, de mucha más reducida extensión y menos justificación. No obstante, de estos segundos loess cada vez se están definiendo más casos, de dimensiones no despreciables y claramente explicados por los procesos de abrasión y atrición eólica, actividad salina, insolación y efecto heladas, típicas de estos entornos áridos e hiperáridos (Mc Tainsh, 1987; Smalley, 1990; Pye, 1995; Assallay et al., 1998; Wright, 2001; Smith et al., 2002). Por otro lado, también se deja abierta la posibilidad de que estas formas, al menos en parte, sean heredadas de condiciones climáticas más húmedas (Büdel, 1963; Smith et al., 2002).

## 2. SUELOS DE GRAN CANARIA Y SU COMPONENTE EÓLICO

El Dr. Joseph M. Prospero (1996; Tabla 2a, pp. 142) estimó para las Islas Canarias unas tasas actuales de deposición de polvo atmosférico de 16 g m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>. Las medidas experimentales de estas tasas en Gran Canaria Menéndez et al. (in press) cayeron en un rango de 17 a 79 g m<sup>-2</sup> yr<sup>-1</sup>, en función de la altitud (de 0 a 950 m). Asumiendo que la densidad media del polvo atmosférico sedimentado es de 1 g cm<sup>-3</sup> y que tan sólo del 50% de polvo depositado es finalmente estabilizado (Cattle et al., 2002), se obtiene, que la tasa de acumulación real o neta en los suelos de Gran canaria se sitúa alrededor de 0.02-0.01 mm año<sup>-1</sup>. Estos valores quedan un orden de magnitud por debajo del umbral de formación de 0.5 mm y<sup>-1</sup> de los loess definidos por Pye y Shering (1999). Por lo tanto, considerando una tasa de acumulación relativamente constante de polvo atmosférico sahariano, los depósitos sedimentarios de Gran Canaria de alto contenido en cuarzo y de tamaño predominantemente limoso, se enmarcarían dentro de los loessoides o de aspecto loésico. No obstante, las mayores entradas de polvo atmosférico en Canarias proceden de los periodos glaciares (Moreno et al., 2001) y queda abierta la posibilidad de haber superado en esos periodos el umbral de formación de loess.

Se han localizado con características loessicas 2 depósitos en Gran Canaria (Menéndez et al., en prensa): uno en Jinámar y otro en Gáldar, cuyas características geomorfológicas en cuanto a su emplazamiento: situados en redes fluviales terminales y represadas, confirman a su vez su componente fluvio-lacustre. Además, por sus rasgos edafogenéticos se deduce su evolución como suelos.

Pero en general, todos los suelos de Gran Canaria, en mayor o menor, medida se nutren de esta importación de polvo sahariano. De hecho, Herrmann et al. (1996) obtuvo un porcentaje de material procedente del polvo atmosférico sahariano en los suelos de 4 a 66 % en función de la distancia a la fuente de producción de este material, el clima y la edad de los suelos. Para concretar estos resultados en Gran Canaria se seleccionaron 4 suelos en función de su altitud, relacionando el porcentaje de cuarzo obtenido en las muestras de polvo atmosférico con los obtenidos en los suelos, asumiendo que el polvo atmosférico sahariano es la fuente de cuarzo en estos suelos (véase Figura 3). De estas comparaciones, se concluyó que entre ~30 y ~150% del material del suelo procede de las calimas (véase Tabla 1; Menéndez et al., en prensa).

Estos valores tan elevados, por encima del 100%, se deben a la relativa inalterabilidad del cuarzo, que hace que, en suelos viejos, el cuarzo (mineral más resistente a la alteración en estas condiciones climáticas) se concentre.

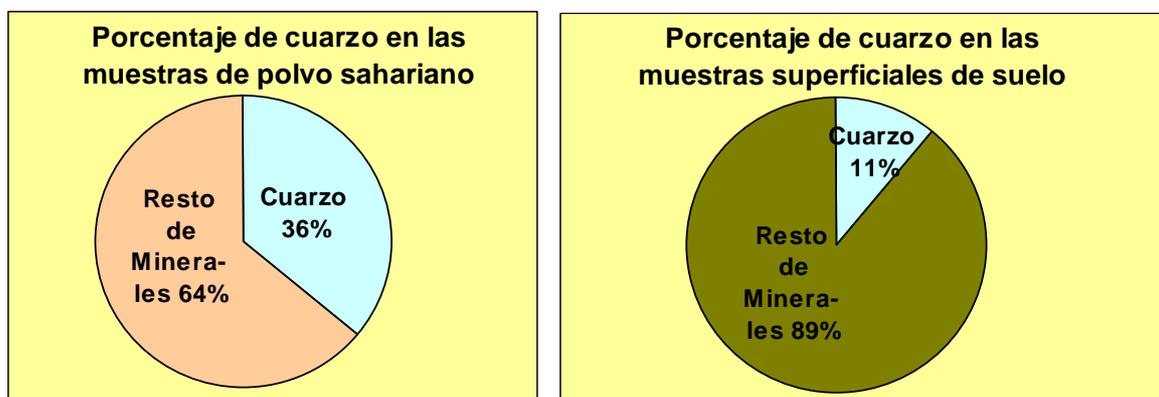


Figura 3: Porcentaje de cuarzo (obtenido por análisis semicuantitativo de los difractogramas obtenidos por Difracción de Rayos-X) de las muestras de polvo sahariano y suelo recogidas en la Base Aérea de Gando (Gran Canaria).

	Gando		Aruacas		Tafira		San Mateo	
	media	sd ±	media	sd ±	media	sd ±	media	sd ±
Calimas recogidas	36	20	52	18	56	12	45	22
Horizonte A del suelo	11	-	77	-	39	-	61	-
% Polvo Sahariano en Ah	31	-	148	-	70	-	135	-

Tabla 1. Contenido en cuarzo, en %, de muestras de calima y del nivel superficial del suelo (Horizonte A) obtenidas en 4 puntos de Gran Canaria, con un gradiente altitudinal (Gando, a 10 m; Costa de Arucas a 53 m, Tafira, a 280 m; San Mateo, a 945 m).

Las implicaciones de estos resultados son varias. Por un lado, la entrada de material eólico a los suelos de tamaño predominantemente limoso mejora su equilibrio textural, conllevando una mejora ecológica y agronómica de este sistema. Sin embargo, el carbonato aportado a estos suelos por calimas no siempre es beneficioso para su aprovechamiento agrícola. Por último, los porcentajes estimados de material sahariano en los suelos de Gran Canaria no son nada desdeñables y representan una componente exótica en la evolución de estos suelos.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Alcántara-Carrió J (2003). Dinámica sedimentaria eólica en el istmo de Jandía (Fuerteventura): modelización y cuantificación del transporte. Cabildo de Gran Canaria (Ed.), Las Palmas de Gran Canaria, Spain.
- Andreade MO (1995). Climatic effects of changing atmospheric aerosol levels, In: A. Henserson-Sellers (ed.), *World Survey of Climatology*, Vol. 16, *Future Climates of the World*, Elsevier, Amsterdam, pp. 341-392.
- Assallay AM, Rogers CDF, Smalley IJ, Jefferson IF (1998). Silt: 2-62  $\mu\text{m}$ , 9-4  $\Phi$ . *Earth-Science Reviews* 45: 61-88.
- Büdel J, (1963). Klima-genetische Geomorphologie. *Geographische Rundschau* 14: 161-187.
- Caldas EF, Schwaighofer B, (1974). Mineralumwandlung im Zuge der Genese der Kanarischen Andosole (Tenerife). *Sitzungsber. Akad. Wiss., Math Nat Kl*: 197-212
- Cattle SR, Mc Tainsh GH, Wagner S (2002). Aeolian dust contributions to soil of the Namoi Valley, Northern NSW Australia. *Catena*. 47: 245-264.
- Coudé-Gaussen G (1987). The peri-Saharan loess: sedimentological characterisation and paleoclimatic significance. *GeoJournal* 15: 177-183.
- Coudé-Gaussen G (1991). *Les Poussières Sahariennes*. John Libbery Eurotext, Montagne, 485 pp.
- Criado C, Dorta P (2003). An unusual "blood rain" over the The Canary Islands (Spain). The storm of January 1999. *J Arid Environ*. 55: 765-783.
- Danukalova GA, Eremeev AA (2006). Quaternary loess-like deposits of the Southern Urals. *Quaternary International*, 152-153: 42-47.
- Derbyshire E (1995). Aeolian sediments in the Quaternary record: An introduction. *Quaternary Science Reviews*, 14: 641-643.
- Donghuai S, Bloemendal J, Rea DK, Zhisheng A, Vandernberghe J, Huayu L, Ruixia S, Tungsheng L (2004). Bimodal grain-size distribution of Chinese Loess, and its paleoclimatic implications. *Catena* 55: 325-340.
- Duce RA (1995). Sources, distributions, and fluxes of mineral aerosols and their relationship to climate. In: R.J. Charlson and J. Heintzenberg (Eds.), *Dahlem Workshop on Aerosol Forcing of Climate*, Berlin, pp: 43-72.
- Goudie AS, Middleton NJ (2001). Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth Science Reviews*, 56: 179-204.

- Jefferson IF, Evstatiev D, Karastanev D, Mavalyanova NG, Smalley IJ (2003). Engineering geology of loess and loess-like deposits: a commentary on the Russian literature. *Engineering Geology*, 68: 333-351.
- Hesse PP, Mc Tainsh GM (2003). Australian dust deposits: modern processes and the Quaternary record. *Quaternary Science Reviews*, 22: 2007-2035.
- Herrmann L, Jahn R, Stahr K (1996). Identification and quantification of dust additions in perisaharan soils, in: Guerzoni, S. and Chester, R. (Eds.), *The impact of desert dust across the Mediterranean*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp: 133-151.
- Kiefert L, McTainsh GH (1996). Oxygen isotope abundance in the quartz fraction of aeolian dust: Implications for soil and ocean sediment formation in the Australasian region. *Australian Journal of Soil Research*, 34 (4): 467-473.
- Loÿe-Pilot, MD, Martin JM (1996). Saharan dust input to the Western Mediterranean: an eleven years record in Corsica, in: Guerzoni, S., Chester, R. (Eds.), *The impact of desert dust across the Mediterranean*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp: 191-199.
- Mc Tainsh G (1987). Desert loess in Northern Nigeria. *Zeitschrift für Geomorphologie* 31: 145–165.
- Nemecz E, Pecsí M, Zsuzsa Hartyáni Z, Horvath T (2000) The origin of the silt size quartz grains and minerals in loess. *Quaternary International* 68-71: 199-208.
- Menendez I, Díaz-Hernández JL, Mangas J, Alonso I, Sánchez-Soto PJ (2007). Airborne dust accumulation and soil development in the North-East sector of Gran Canaria (Canary Islands, Spain). *Journal of Arid Environment*. (In Press).
- Middleton NJ, Betzer PR, Bull PA (2001). Long-range transport of “giant” Aeolian quartz grains: linkage with discrete sedimentary sources and implications for protective particle transfer. *Marine Geology* 177: 411-417.
- Mizota C, Matsuhisa Y (1995). Isotopic evidence for the eolian origin of quartz and mica in soils developed on volcanic materials in the Canary Archipelago. *Geoderma*. 66: 313-320.
- Moreno A, Targarona J, Henderiks J, Canals M, Freudenthal T, Meggers H (2001). Orbital forcing of dust supply in the North Canary Basin over the last 250 kyrs. *Quaternary Science Reviews*, 20: 1327-1339.
- Obruchev VA (1945). Loess types and their origin. *American Journal of Science*, 243: 256-262.
- Precsi M (1990). Loess is not just accumulation of airborne dust. *Quaternary International*, 7/8: 1-21.

- Prospero JM (1996). Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean and Mediterranean: an overview, in: Guerzoni, S. and Chester, R. (Eds.), *The impact of desert dust across the Mediterranean*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp: 133-151.
- Pye K (1995). The nature, origin and accumulation of loess. *Quaternary Science Reviews*, 14: 653-667.
- Pye K, Sherwin D (1999). Loess. In: Goudie, A.S., Livingstone, I., Stokes, S. (Eds.), *Aeolian Environments, Sediments & Landforms*. Wiley, West Sussex, England.
- Smalley IJ (1990). Possible formation mechanisms for the modal coarse-silt quartz particles in loess. *Quaternary International*, 7/8: 23–27.
- Smith BJ, Wright JS, Whalley WB (2002). Sources of non-glacial, loess-size quartz silt and the origins of “desert loess”. *Earth-Science Reviews*, 59: 1–26.
- Wright J (2001). Making loess-sized quartz silt: data from laboratory simulations and implications for sediment transport pathways and the formation of “desert” loess deposits associated with the Sahara. *Quaternary International* 76/77: 7-19.
- Yaalon DH (1987). Saharan dust and desert loess: effect on surrounding soils. *Journal of African Earth Sciences*, 6 (4): 569-571.

## **CARTOGRAFÍA GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA DE LAS ISLAS CANARIAS**

Juan Acosta Yepes

Instituto Español de Oceanografía, Corazón de María 8, 28002 Madrid. Email: [juan.acosta@md.ieo.es](mailto:juan.acosta@md.ieo.es)

### **INTRODUCCIÓN**

Actualmente el estudio y cartografía de los fondos marinos se puede dividir en dos aspectos; el Hidrográfico y el Geomorfológico, geológico y geofísico.

El Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM) es el organismo encargado de la cartografía náutica Española, mientras otros organismos de investigación y Universidades realizan estudios sobre el suelo y subsuelo marino alrededor de nuestros márgenes continentales.

La evolución de estos estudios y sus resultados han sido consecuencia y van parejos a la evolución tecnológica, movida por dos motores básicos: El económico, centrado en la búsqueda de yacimientos submarinos minerales y de petróleo (sísmica continua por reflexión), y la defensa nacional impulsada por las guerras mundiales con el descubrimiento y desarrollo de ecosondas o el radar.

La importancia del reconocimiento internacional de la extensión de soberanía y derechos de exploración y explotación de los recursos vivos y no vivos de las grandes zonas adyacentes a los países costeros mediante la Convención Sobre el derecho del Mar de Naciones Unidas ha propiciado el estudio sistemático de las grandes zonas económicas exclusivas de los países con costa para conocer, explotar y proteger estas áreas.

En 1998, a petición del Gobierno Canario, se iniciaron los estudios de la ZEEE Canaria dentro del Programa ZEEE.

Investigación en Geología y Geofísica Marina. El Programa Oceanográfico e Hidrográfico de la Zona Económica Exclusiva Española

En el año 1993, el Gobierno de la Nación estableció un programa de investigación sistemática de la Zona Económica Exclusiva Española (ZEEE) como forma de sustanciar los derechos soberanos del Estado Español sobre la exploración y explotación de sus recursos. Se trataba, fundamentalmente, de hacer un cartografiado exhaustivo y completo del fondo marino que permitiera un conocimiento detallado de la topografía submarina en el ámbito de la ZEEE, utilizando para ello los sondadores multihaz instalados en el B.I.O. "Hespérides". Adicionalmente, durante la ejecución de las campañas habría de recogerse cuanta información adicional fuese posible sobre otras variables geofísicas relativas al medio y subsuelo marinos.



Figura 1: B.I.O. Hespérides, utilizado un mes al año para los estudios de la ZEEE

La Orden Ministerial Comunicada 55/94, de 30 de Mayo, estableció que, con el fin de "explorar, explotar, conservar y administrar los recursos existentes en la Zona Económica Exclusiva Española de forma eficaz y sin deterioro para el medio ambiente, era necesario un esfuerzo cartográfico y de investigación

oceanográfica que contemplase los intereses de la Defensa Nacional, Administraciones Públicas y Comunidad Científica."

Dentro de este programa, el I.E.O tiene un grupo de investigadores dedicado a procesar, visualizar e interpretar los resultados batimétricos, geomorfológicos y sísmicos obtenidos en el marco de este programa de investigación, habiéndose establecido una serie de prioridades a corto, medio y largo plazo destinadas a cumplir los objetivos descritos con anterioridad.

Los objetivos generales especificados en el Plan ZEEE son:

- Realizar trabajos hidrográficos sistemáticos y exhaustivos que permitan una completa cartografía de los fondos marinos de la ZEEE.
- Llevar a cabo exploraciones geofísicas que permitan un conocimiento de su fisiografía y naturaleza geofísica
- Realizar campañas oceanográficas para estudiar las características y procesos físicos.
- Procesar y gestionar los datos registrados para obtener mapas, cartas, e informes a partir de los cuales España conozca el carácter de la ZEEE y su potencial económico.
- Realizar el tratamiento informático necesario para la integración de toda la información en Bases de datos interactivas.
- Ofrecer los resultados a la comunidad científica e industrial salvo aquella que pueda ser clasificada por afectar a la seguridad nacional.

### ¿Qué es la ZEEE?

"La Zona Económica Exclusiva es un área situada más allá del mar territorial y adyacente a éste, que se extiende 200 millas náuticas desde las líneas de base rectas a partir de las cuales se mide la anchura del mar territorial" (Artículos 55 y 57 de la Tercera convención sobre el derecho del mar. ONU)

Como norma general la ZEEE se extiende 200 m.n (~370 km) contados a partir de las líneas de base rectas que delimitan el Mar territorial. La convención reconoce además la posibilidad de reclamar hasta 350 m.n. basándose en criterios morfológicos (60 m.n. a partir de la base del talud continental, o por criterios de espesor de sedimentos (deben tener el 1% de espesor contados a partir de la base del talud).

El estudio sistemático de nuestra ZEEE, además de los objetivos marcados en el Plan de investigación, permitiría, en las zonas en que sea posible, ampliar nuestra ZEEE hasta el límite de 350 m.n (artículo 76 de la UNLOS).

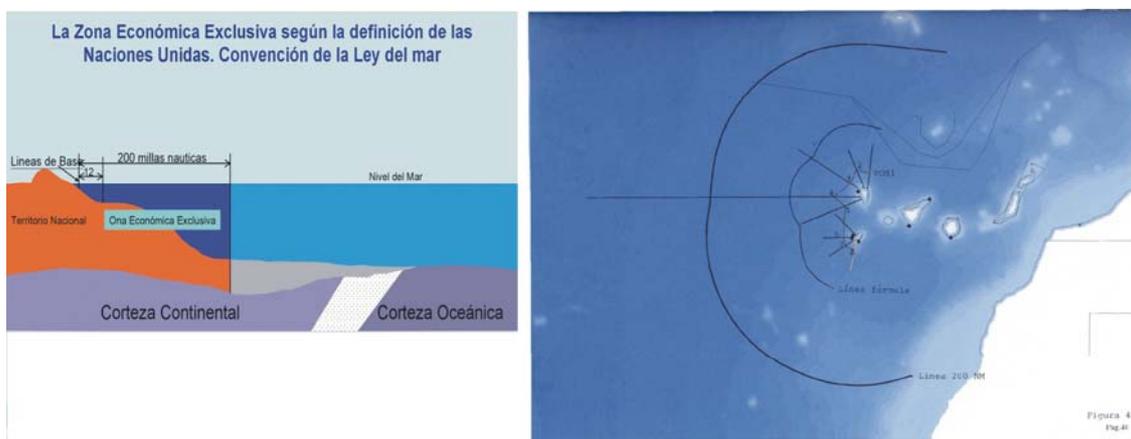


Figura 2: Izquierda: Definición de Zona Económica Exclusiva según la convención de la ONU sobre el derecho del Mar (Art.76). Derecha: Zona Económica Exclusiva Canaria.

En Marzo de 1987 se iniciaron los estudios conducentes a evaluar la ZEE Canaria, dando negativos los mismos al tener un pie de talud muy cercano a costa y requerir de 3000 a 5800 metros de sedimentos para aplicar la línea Gardiner, Por lo tanto en Canarias se cuenta con 200 millas de ZEE no habiendo lugar a ampliación de la misma..

Las metodologías que se emplean actualmente para el estudio de la ZEEE son variadas en función de los parámetros que se quiere investigar; Ecosondas multihaz para el estudio, cartografía y caracterización del suelo y formas submarinas, los métodos geofísicos como la gravimetría, magnetometría y sísmica de alta resolución que caracterizan la naturaleza del subsuelo marino, métodos de estudio de las masas de agua como los perfiladores de corrientes basados en el efecto doppler (ADCP), medidas de parámetros físicos del agua como la velocidad del sonido, temperatura, salinidad etc.

Asimismo, y en casos concretos se utilizan sistemas y metodologías “directas” de investigación, como las tomas de muestras de sedimentos superficiales mediante dragas, sondeos mecánicos y “carotages”, video y televisión submarina etc. Todos estos medios permiten la cartografía integral del suelo y subsuelo marino, permitiendo conocer sus recursos, su mejor

administración, ayuda en toma de decisiones y en el caso que el gobierno de la nación lo estime oportuno, el solicitar la ampliación de nuestra ZEEE en los casos en que se cumplan los requisitos marcados por la convención sobre la ley del mar.

### ¿Como se investiga?. Metodologías utilizadas

El BIO Hespérides es la plataforma científica mejor dotada para los trabajos de Oceanografía y geología y geofísica de España, contando con la siguiente instrumentación de última generación:

- Navegación mediante GPS con correcciones diferenciales
- Ecosondas Multihaz Simrad EM-12S y EM-1000 (de 50 a 11.000 m de profundidad)
- Ecosonda Hidrográfica Simrad EA-500
- Sonda sísmica de alta resolución de efecto paramétrico (TOPAS 18)
- Gravímetro marino Bell Aerospace-Textron BGM-3
- Gravímetro terrestre La Coste & Romberg
- Magnetómetro marino de protones Geometrics G-801
- Perfilador de corrientes ADCP
- Sensores continuos de velocidad de sonido y temperatura-salinidad
- Dragas y sacatestigos de sedimentos
- Fotografía submarina de gran profundidad (Benthos)
- Sensor de medida directa de velocidad de sonido SV-plus (> 5000 m)



Figura 3: Transductores de los ecosondas multihaz instalados en el BIO Hespérides. Arriba derecha = Esquema de funcionamiento de los Ecosondas multihaz frente a los Ecosondas Monohaz clásicos, con indicación de la zona cubierta sobre el fondo por ambos tipos de ecosondas.

Como parte fundamental del programa de investigación Oceanográfica - Hidrográfica de la Zona Económica Exclusiva Española, se encuentra el reconocimiento batimétrico con cobertura al 100 %, del fondo marino de las áreas estudiadas. Para cumplir este objetivo, se han empleado dos tipos de ecosondas multihaz de la marca Simrad denominadas EM-12 y EM -1000. Ambas ecosondas son complementarias utilizándose la EM-1000 para zonas de hasta 350 m de profundidad y a partir de ahí y hasta cualquier profundidad oceánica la ecosonda EM-12.

Estas ecosondas forman parte de una nueva generación de instrumentos de investigación oceánica, que no sólo obtienen datos batimétricos de muy alta resolución, sino que también son capaces de registrar simultáneamente valores de reflectividad acústica del fondo oceánico.

### El Plan de Trabajo

La elección de las zonas de trabajo corresponde al comité director del Plan ZEEE constituido por directivos del Mº de Defensa, Instituto Hidrográfico de la Marina y Mº de Educación y Ciencia (Instituto Español de Oceanografía).

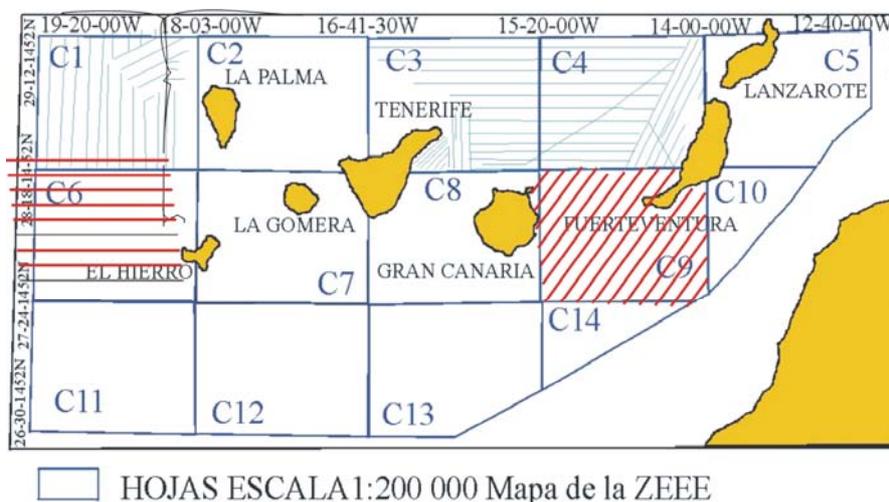


Figura 4: Plan cartográfico del archipiélago Canario. Las cuadrículas corresponden a los mapas temáticos a editar a escala 1: 200.000

Dentro de cada zona a estudiar se planifican anualmente las campañas Oceanográficas teniendo como criterio prioritario la cobertura al 100% del fondo

marino con los ecosondas multihaz y estableciendo los itinerarios idóneos a seguir por el BIO Hesperides en función de su batimetría y disposición morfológica.

En 1998, y por petición del Gobierno Canario EL Plan de la ZEEE se trasladó a ese archipiélago trabajando durante los años 1998,1999, 2000 y 2001, realizando las Hojas C-1, C-2, C-3, C-4, C-6, C-7, C-8 y C-9.

Las líneas que se aprecian en la figura 4 corresponden a las derrotas del barco, siendo su espaciado función de la mayor o menor cobertura de los ecosondas multihaz en función de la mayor o menor profundidad.

#### Cartografía Generada en el Programa ZEEE

Los diferentes conjuntos de datos registrados; gravimetría, magnetismo, Sísmica de reflexión y batimetría multihaz, tras su procesado, permiten la elaboración de la Base de datos de la ZEEE, así como la edición en papel de la siguiente cartografía temática que será incluida en el ATLAS de la ZEEE.

- Mapas batimétricos
- Mapas de reflectividad del fondo
- Respuesta Sísmica (isopacas, Isocronas, y mapas texturales)
- Geomagnetismo: Mapas de Campo Total
- Geomagnetismo: Mapas de Anomalías
- Gravimetría: Anomalías de aire Libre
- Gravimetría: Anomalías de Bouger

## 1. MORFOLOGÍA SUBMARINA DE LAS ISLAS CANARIAS

Las Canarias son islas volcánicas oceánicas que presentan unas características especiales en cuanto a su génesis y morfología submarina. En cuanto a su origen se ha especulado con varias hipótesis entre las que se pueden citar un origen relacionado con una gran falla proveniente del Atlas, bloques tectónicos elevados o la generalmente aceptada de origen ligado a un punto caliente (hot spot).

Las fases de crecimiento o génesis de las islas oceánicas se pueden resumir en cuatro:

- Fase de monte submarino
- fase de crecimiento en escudo (submarino y subaéreo)
- Fase de reposo y erosión profunda (erosional gap)
- Fase post-erosiva

El volcanismo en las Canarias se ha producido en varios tiempos geológicos, desde el Cretácico, representado en Fuerteventura, hasta la actualidad en las islas occidentales (La Palma y El Hierro). Basándose en sus historias eruptivas Carracedo (1994) divide las islas en tres grupos; Volcanismo histórico (500 años; Tenerife, La Palma, Lanzarote y probablemente El Hierro); Volcanismo Cuaternario (Fuerteventura y Gran Canaria); y los que no presentan volcanismo Cuaternario (La Gomera).

La característica más relevante desde el punto de vista geomorfológico de las islas oceánicas es su permanente dualidad entre las fuerzas “constructivas” y “destructivas” lo que hace que el proceso de crecimiento de las islas se vea afectado regularmente por fenómenos de deslizamiento y avalanchas que de tiempo en tiempo equilibran la estabilidad gravitatoria de los edificios volcánicos.

A continuación pasaremos revista a los hechos morfológicos más característicos de los fondos marinos del Archipiélago Canario puestos de manifiesto en el transcurso de las investigaciones realizadas dentro del Programa ZEEE-Canarias:

- Deslizamientos submarinos y avalanchas de derrubios, localizados en los márgenes sumergidos de las Canarias, así como las estructuras volcánicas detectadas (Rift, Dorsales y edificios volcánicos).
- Morfotectónica
- Diapirismo y tectónica salina

## 2. DESLIZAMIENTOS SUBMARINOS Y AVALANCHAS DE DERRUBIOS

Según Normark et al. (1993) los deslizamientos que se producen por colapso de los edificios volcánicos pueden ser de diversos tipos: Deslizamientos (Slumps), Avalanchas de derrubios (debris avalanches) , Flujos de derrubios (debris flows) y corrientes de turbidez (Turbidity currents).

Las avalanchas presentan más extensión y menos potencia que los Slumps, pudiendo transportar bloques de rocas de magnitudes kilométricas, algunos autores han propuesto que pueden ser el resultado final de un slump, al recorrer estos sedimentos superficies irregulares y provocar la rotura interna de sus rocas.

“Debris avalanches” y “flows” pueden originar corrientes de turbidez como en el caso de las detectadas en la llanura abisal de Madeira desde hace 17 Ma. Durante los últimos 7 Ma estas turbiditas se depositaron cada 100 ky. Según Masson et al (2002) cada nivel de turbiditas representa el efecto de una avalancha de derrubios en el archipiélago Canario, por lo que los 80 niveles de turbiditas volcanoclásticas detectadas en el sondeo ODP 951 en la llanura abisal de Madeira desde hace 7 Ma es el registro mínimo de los colapsos volcánicos que se han dado en este tiempo en las Canarias.

### 2.1. Tenerife

Tal como ya se ha comentado anteriormente, en 1998 el programa ZEEE se desplazó a las Islas Canarias. El interés geológico de este archipiélago, unido a su naturaleza volcánica fué previamente objeto de un proyecto coordinado y financiado por la UE.

La campaña TEIDE-95, formó parte del programa integrado de la UE "Volcanes Laboratorio Europeos", dentro del cual se han estudiado diferentes aspectos relacionados con el Teide encuadrados en 18 proyectos diferentes.

El proyecto nº 8, realizado por el I.E.O, tuvo por objetivo el estudio geofísico del margen insular sumergido de la isla de Tenerife. Los objetivos concretos del estudio sísmico y batimétrico fueron la caracterización y cuantificación de las series depositadas en los márgenes insulares sobre el zócalo o escudo originario de la isla, y el reconocimiento tectónico y estructural del margen insular.

Si tenemos en cuenta que las partes sumergidas de los edificios volcánicos oceánicos representan decenas de veces la superficie emergida, corresponden

a las fases iniciales de crecimiento de las mismas y pueden localizar algunos de los mayores riesgos volcánicos, es evidente que la hasta este momento poco estudiada estructura volcánica sumergida debe ser reconocida al menos al mismo nivel que la emergida para conseguir como objetivo final la predicción / aminoración de riesgos volcánicos potenciales.

El estudio de la información obtenida en el margen norte de Tenerife parece indicar que en la zona de trabajo debieron producirse tres grandes avalanchas de derrubios (Figura 5), la primera en el tiempo habría sido la central que partió de Orotava Oeste después la de Orotava Este y posteriormente la del Valle de Icod. El orden de acontecimientos se ha deducido mediante el análisis de las interacciones morfológicas entre ellas y de la disposición de sus materiales así como del grado de reflectividad de los mismos. También en el extremo occidental de la zona se cartografiaron canales de deslizamiento de tipo medio cuyas áreas fuente -no bien desarrolladas- se encuentran en el macizo de Teno, enfrente de Buenavista.

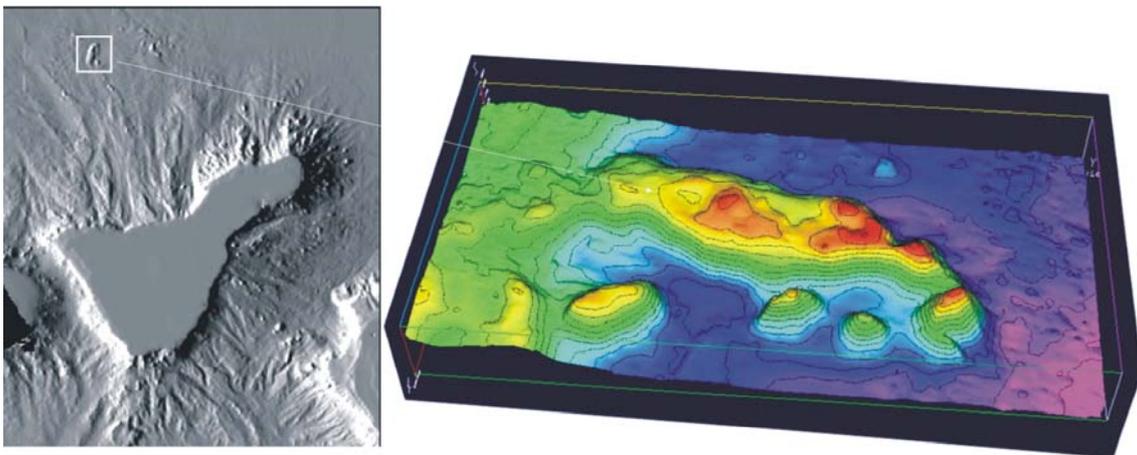


Figura 5: Modelo Digital de la Isla de Tenerife y fondos submarinos adyacentes. Se aprecia en la parte Norte la existencia de grades canales de avalanchas submarinas que pueden haber transportado bloques rocosos de dimensiones kilométricas a más de 80 Km de la costa, como el denominado "San Borondón"

El origen de estas avalanchas, tan importantes en esta parte de la isla, debe ser atribuible a la gran altura del edificio volcánico que siempre debió de existir en el centro de la misma y a la presencia de fallas de dirección sensiblemente Este-Oeste que actuarían como mecanismo de iniciación, una de cuyas

manifestaciones subaéreas podría ser el escarpe de Buenavista-Garachico, tras el cual se aprecian las dos cabeceras de deslizamiento de Teno.

Los materiales desplazados por estas grandes avalanchas se han estimado en 1276 Km<sup>3</sup> (Teide Group, 1997).

La creación de los canales que desde la plataforma insular llegan hasta el pié lobulado de derrubios, debió de ser posterior a la descarga de cada gran avalancha, y se generarían por deslizamientos de los materiales depositados en la superficie del talud durante la fase anterior de avalancha. Estos flujos de derrubios que deben contener una matriz de materiales finos y probablemente un alto componente de gases disueltos permiten “transportar” flotando en ellos grandes bloques rocosos del edificio volcánico de la isla.

Este mecanismo es el que hemos propuesto para explicar la presencia de un “bloque” de 8 x 3 km que encontramos a más de 80 km de la costa actual de Tenerife y con un relieve de 400 metros. La existencia de esta “isla sumergida” fué denominada en la cartografía realizada (Palomo et al. 1998a, b) como Isla de San Borondón, tomando la toponimia de la leyenda Canaria sobre la “isla-ballena” de San Brendan, Isla que presenta un larga historia de “avistamientos” desde el S.XVI y que según la leyenda Canaria, cuando se acerca la hora de la muerte se puede divisar en el horizonte...

Durante el programa ZEEE-Canarias han ido apareciendo otros rasgos morfológicos submarinos de gran interés estando en fase de preparación para su edición los correspondientes mapas batimétricos, magnéticos y gravimétricos de todo el Archipiélago. Entre los más relevantes se cartografió un nuevo volcán submarino localizado entre las Islas de Tenerife y Gran Canaria. La profundidad a que se encuentra es de 2500 m y el volcán se eleva sobre el fondo marino unos 500 m. El volcán se bautizó como “Volcán de en medio” y en un posterior estudio se realizaron fotografías submarinas y tomas de muestras (Figura 6)

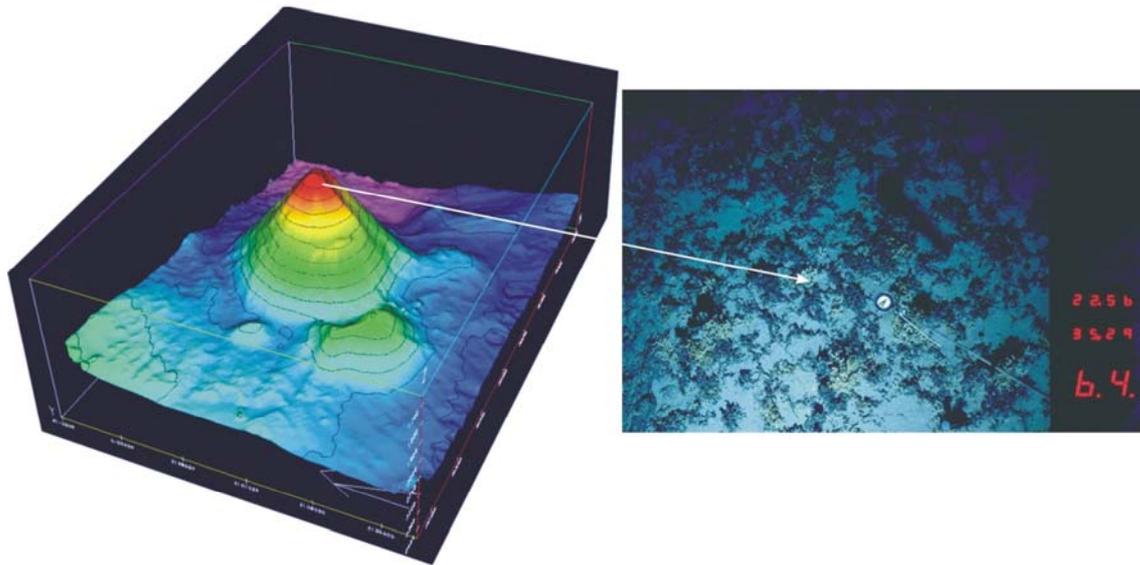


Figura 6: Izquierda: Esquema 3D del Volcán de En medio, situado en la parte central del Canal entre Tenerife y Gran Canaria (Iluminación artificial desde el NW). Derecha: Fotografía submarina de la cima del Volcán.

## 2.2. Avalanchas en las islas Occidentales

Las islas de El Hierro y La Palma constituyen las denominadas islas occidentales, las más jóvenes del archipiélago (1,2 y 1,8 m.a respectivamente). La actividad volcánica en las mismas es elevada y dada su juventud geológica conservan inalteradas sus características geomorfológicas tanto en su parte emergida como sumergida.

En la figura 7 se puede apreciar los modelos del terreno de ambas islas en los que es clara la presencia de grandes escarpes en tierra, correspondientes a las cabeceras de los deslizamientos masivos, así como su continuación submarina. Estos grandes deslizamientos (debris avalanches) movilizan cientos de kilómetros cúbicos de sedimentos y rocas pendiente abajo, y pueden a su vez generar avalanchas de sedimentos más finos (debris flows) que a su vez pueden generar en las partes más distales corrientes de turbidez (turbidity currents).

En la isla de La Palma se han identificado 3 grandes avalanchas en su lado oeste (Playa de la Veta y Cumbre Nueva) y otra en su flanco este; "Santa Cruz debris avalanche".

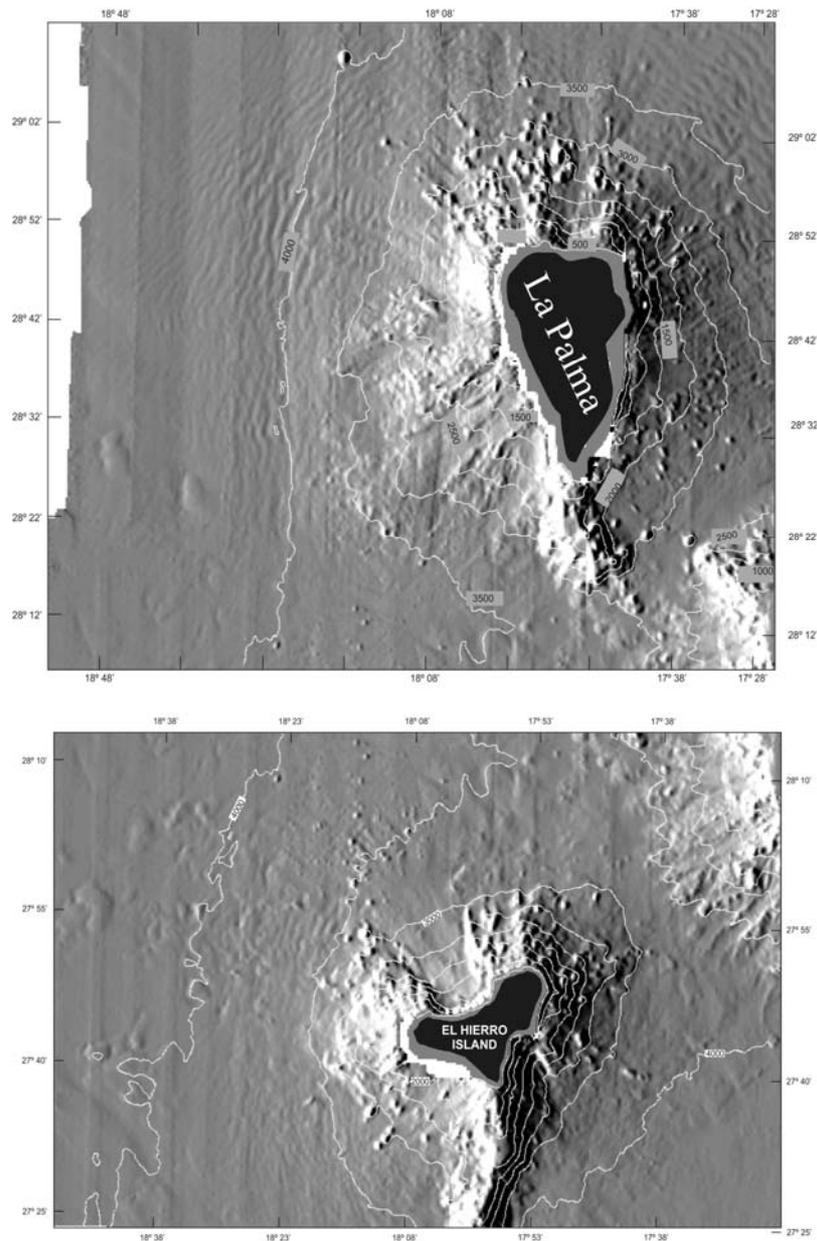


Figura 7: Modelo Digital del terreno de las Islas de La Palma y El Hierro elaborado a partir de datos de ecosonda multihaz. Iluminación artificial desde el NW. (Acosta et al. 2003)

La isla de El Hierro presenta el ejemplo más claro de los efectos morfológicos de este tipo de procesos, en la figura 8 podemos apreciar la existencia de tres grandes avalanchas submarinas: El Julan, El Golfo y La Playas, enmarcadas por tres Rifts (NW, NE y S) que han contribuido a desestabilizar el edificio original de la isla mediante la intrusión de numerosos diques.

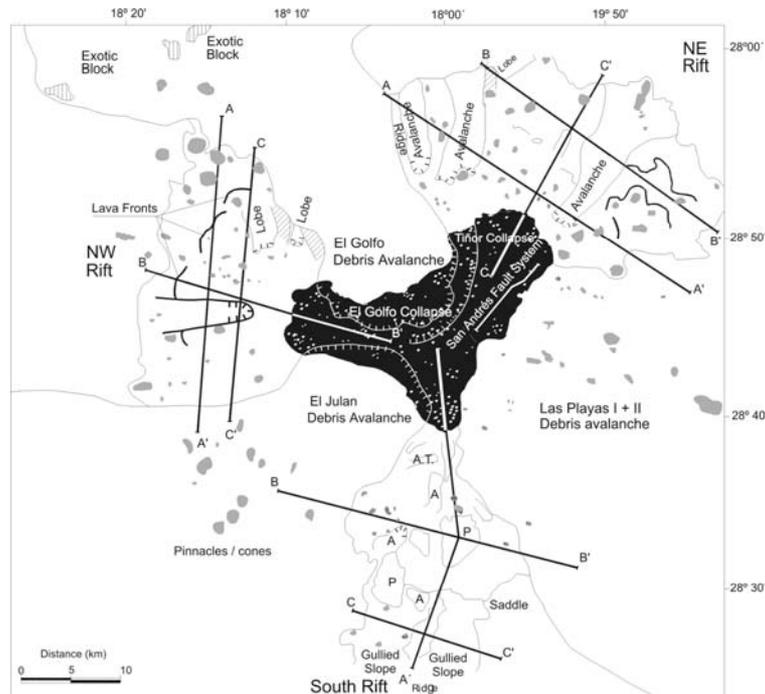


Figura 8: Interpretación geomorfológica del relieve submarino de la isla de El Hierro. Se aprecia la extensión de las diferentes avalanchas de derrubios “debris avalanches”, Conos volcánicos “pinacles-cones” y bloques desplazados “exotic blocks” . .(Acosta et al.2003)

En la figura 8 se presenta una interpretación geomorfológica del relieve submarino alrededor de la isla de El Hierro, se aprecia la extensión de las diferentes avalanchas de derrubios o “debris avalanches”, así como la prolongación sumergida de los tres “brazos” de la isla. En su parte sumergida estos “rifts” presentan coladas de lava, avalanchas, y pináculos submarinos que parecen corresponder a conos volcánicos.

### 2.3. Avalanchas en las islas Orientales

Mar afuera de las islas orientales y las más antiguas del Archipiélago Canario, Lanzarote y Fuerteventura, las avalanchas han sido modificadas y enmascaradas por la deposición de sedimentos turbidíticos y por los procesos de sedimentación hemipelágicos.

Los deslizamientos al oeste de Lanzarote presentan la forma de una rampa en la base del talud insular. Su tamaño y la falta de evidencias de rotación en su lado de tierra eliminan la posibilidad de que se trate de un slump.

Los deslizamientos al oeste de Fuerteventura son tan importantes que a pesar de que pudieron generarse en el Mioceno-Plioceno son aún reconocibles enormes bloques exóticos desplazados del flanco insular. En la figura 9 se pueden apreciar varios bloques rectangulares de techo plano con dimensiones de 22 x 11 km, 4 x 4 km y 11 x 6 km.

Recientes trabajos de investigación en esta zona (Acosta et al. 2004 a,b), indican que estos bloques representan elementos exóticos arrastrados a su posición actual pendiente-abajo por avalanchas de derrubios originadas durante el colapso de los Complejos volcánicos Norte y Central. Hemos denominado a esta unidad que cubre una extensión de 3.500 km<sup>2</sup> la Avalancha de derrubios de Puerto Rosario.

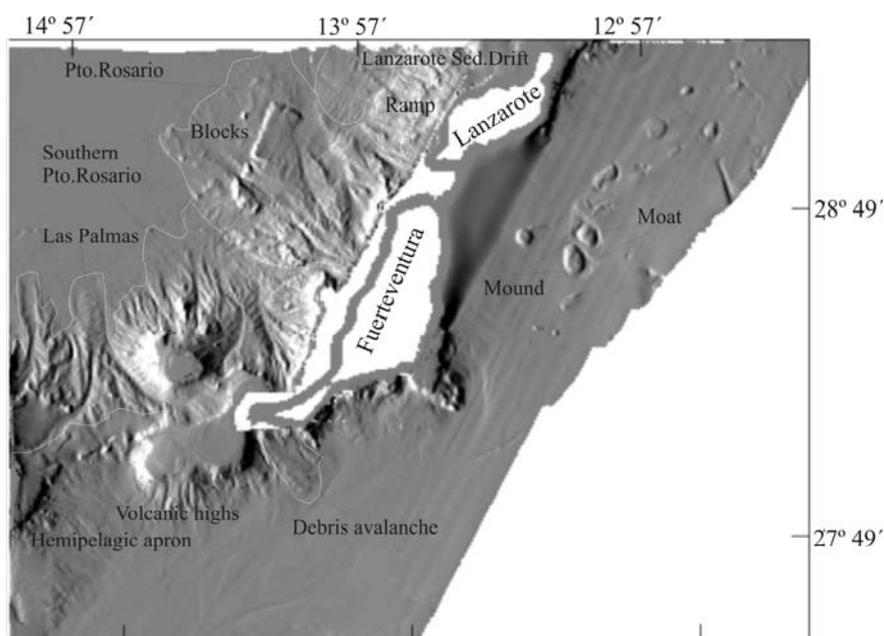


Figura 9: Mapa en relieve sombreado de las islas de Lanzarote y Fuerteventura. Se aprecian en su margen oeste la existencia de grandes deslizamientos y en el margen este la existencia de diapiros aflorantes.

La figura 9 representa una imagen en relieve con iluminación artificial desde el NW de los márgenes oeste de Lanzarote y Fuerteventura, así como los bancos de Amanay y El Banquete en el extremo sur de Fuerteventura. Se aprecian los deslizamientos denominados “Puerto Rosario”, “Puerto Rosario sur” y “Las Palmas”, destacando por su enorme tamaño los bloques desplazados al oeste de Fuerteventura que por sus dimensiones pueden ser clasificados como unos de los de mayor tamaño encontrados en los márgenes insulares volcánicos a nivel mundial. El margen oeste de Lanzarote consiste en una plataforma inclinada hacia el oeste surcada por cárcavas y dorsales, destacándose una morfología sedimentaria (“Lanzarote Sedimentary Drift”) que se propone creada por la corriente Nor-Atlántica profunda (NADW).

La morfología de los márgenes orientales de estas islas (Canal de Canarias) está caracterizada por la presencia de montículos submarinos, huellas de escape de fluidos y cárcavas asociadas que son el resultado del afloramiento de diapíros de origen evaporítico que serán comentados más adelante.

### 3. MORFOTECTÓNICA

Los efectos morfológicos de la tectónica sobre los fondos marinos Canarios no han sido hasta la fecha puestos de manifiesto. Se ha creído hasta la fecha que las Canarias son zonas de baja a muy baja sismicidad con terremotos siempre asociados a la actividad volcánica. El terremoto mayor detectado dentro de la época instrumental fue el de 1989 localizado entre las islas de Tenerife y Gran Canaria con magnitud  $M = 5.2$  y que fue estudiado por Mezcuca et al. 1992, siendo atribuido a una gran falla de dirección NE-SW.

Posteriores estudios de Gonzalez de Vallejo et al. (en prensa) indican la existencia de evidencias morfológicas al sur de Tenerife indicativas de un terremoto de  $M = 6.8$  de posible edad Holocena.

Durante los estudios batimétricos y geomorfológicos dentro del programa ZEEE se han puesto de manifiesto morfologías atribuibles a fenómenos tectónicos, fallas, algunas de ellas de edad actual.

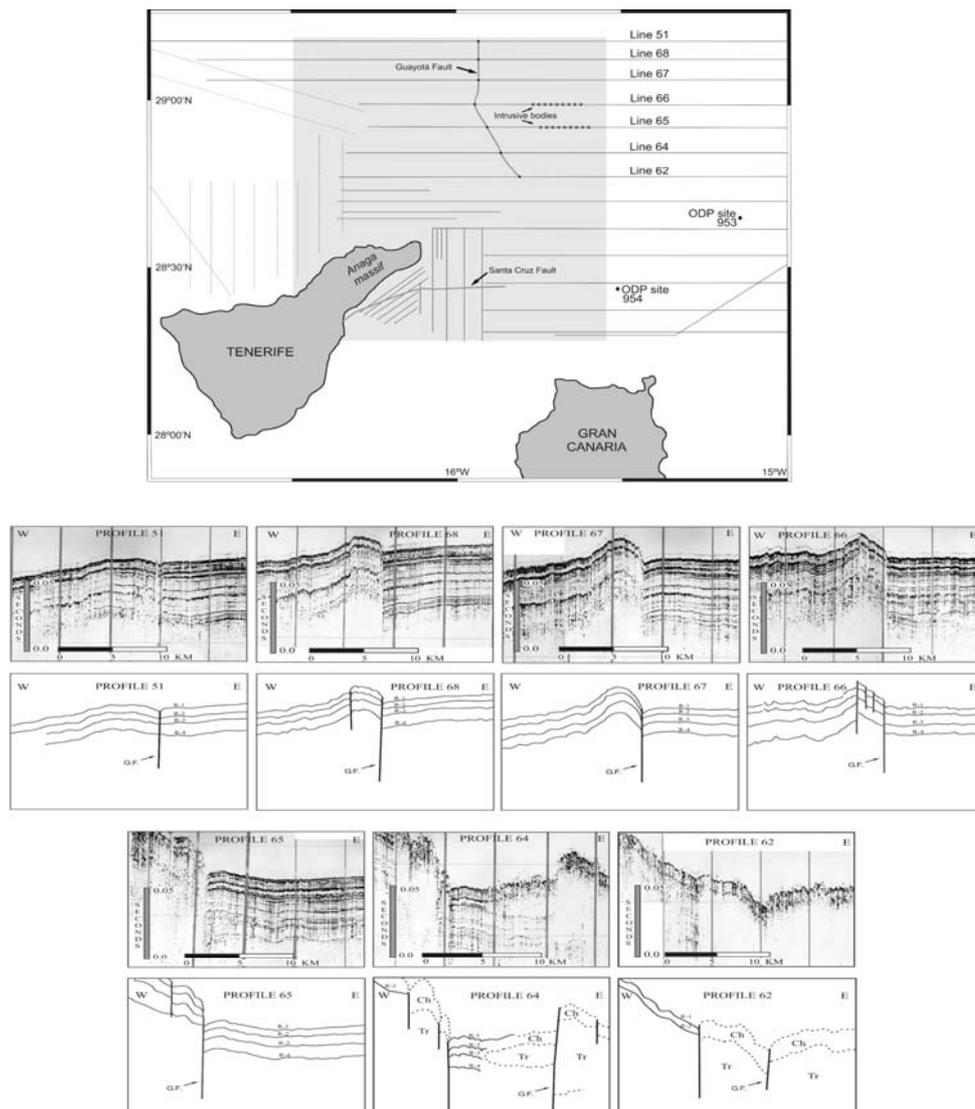


Figura 10: ARRIBA: Mapa de posición de los perfiles sísmicos y batimétricos. Se presentan las trazas de las fallas Santa Cruz y Guayotá ABAJO: Secciones de los perfiles sísmicos (Topas 018) en los que se ha detectado la falla de Guayotá. Se aprecia el salto (25-30 m) de los diferentes reflectores Holocenos así como los pliegues asociados a la falla .

Se puede resaltar por su especial interés la existencia de dos largas fracturas:

- Falla de Santa Cruz, que limita y corta la parte sumergida del macizo de Anaga y que presenta una longitud de 50 km, cambiando su dirección de SW- NE a E-W. Parte de los sedimentos y rocas de la avalancha de Güimar al sur de Tenerife parecen estar canalizados por el importante

cañón submarino erosionado a favor de esta importante estructura. En la figura 10 se presenta la situación de esta falla.

- Falla de Guayotá, se localiza a más de 80 km al NW del macizo de Anaga y ha sido reconocida a partir de perfiles sísmico de muy alta resolución (Topas 018). Ha sido identificada en 7 perfiles paralelos de dirección E-W separados entre si 10 km dando por lo tanto una longitud mínima de 60 km para esta falla (Figura 10, Abajo).

La falla de Guayotá, (De la leyenda Canaria, “dios maligno encerrado en el Echeyde”) afecta a los sedimentos superiores Holocenos ( > 100m) desplazando sus reflectores acústicos de 25 a 30 metros y llegando a tener expresión morfológica sobre el fondo marino, lo que hace que la clasifiquemos como una falla activa.

La presencia de estructuras compresivas (pliegues) asociados a esta falla ha hecho que se interprete como una falla en dirección de carácter transpresivo.

La figura 10 muestra los diferentes segmentos de los perfiles sísmicos en que se ha detectado la falla, con expresión de los reflectores acústicos desplazados así como los pliegues compresivos asociados a la misma.

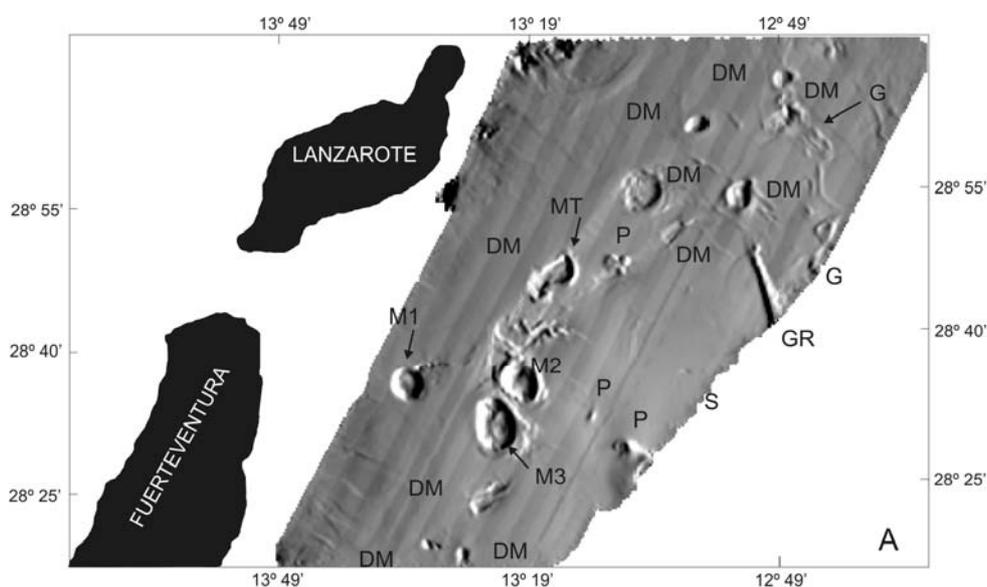


Figura 11: Mapa en relieve sombreado del Canal de Canarias. Iluminación artificial desde el NW. DM = Diapiros. M1 = montículo volcánico. P = Pockmarck. G = Cárcava. GR = graben.

#### 4. DIAPIRISMO Y TECTÓNICA SALINA

En el Canal Canario (Canal entre Fuerteventura y Lanzarote y la costa Africana), se han identificado sobre el fondo marino montículos de forma circular a elíptica con relieves sobre el fondo circundante de 75 a 375 m y diámetros desde 4 a 8 km. Estos montículos están parcialmente rodeados en sus bases por surcos o canales con relieves de 25 a 75 metros de profundidad.

La situación de las islas de Fuerteventura y Lanzarote, sobre la denominada Dorsal Canaria (Canary Ridge), parece corresponder al límite cortical corteza oceánica-corteza continental. La presencia de estos montículos sobre el Canal Canario se atribuye al afloramiento de diapiros evaporíticos correspondientes a las cuencas de edad Triásica-Jurásica que se encuentran en el margen Africano y que se extienden mar afuera hacia el oeste, incluyendo el Canal Canario.

La figura 11, un mapa en relieve sombreado del Canal Canario, ilustra la presencia de estos montículos (DM), surcos en sus bases y cárcavas asociadas así como cráteres aislados en el fondo marino correspondientes a las huellas de escapes de fluidos (pockmarks). Los surcos y cárcavas asociados a los montículos se han interpretado como generados por erosión de salmueras originadas por la disolución de las sales de que están formados los diapiros.

Uno de los montículos cartografiados, el denominado M1, situado al oeste de Fuerteventura y cercano a esta isla, presenta una morfología diferente, presenta un cráter en su cima, no presenta surcos en su base y tiene asociado una pequeña cresta o dorsal que parte de su base NW. Su proximidad a la Dorsal Canaria hace pensar en un montículo de origen volcánico, sobre este monte submarino se ha detectado por fotografía submarina la expulsión de gases de probable origen volcanogénico (Figura 12).

Como confirmación de la naturaleza volcánica del montículo M1 frente a la diapírica – evaporítica de los demás montículos (DM's y M2, M3 en Figura 11), los estudios geomagnéticos realizados en la zona muestran que el M1 presenta una anomalía geomagnética de 300 nT mientras que el resto de los DM no presentan ninguna anomalía.

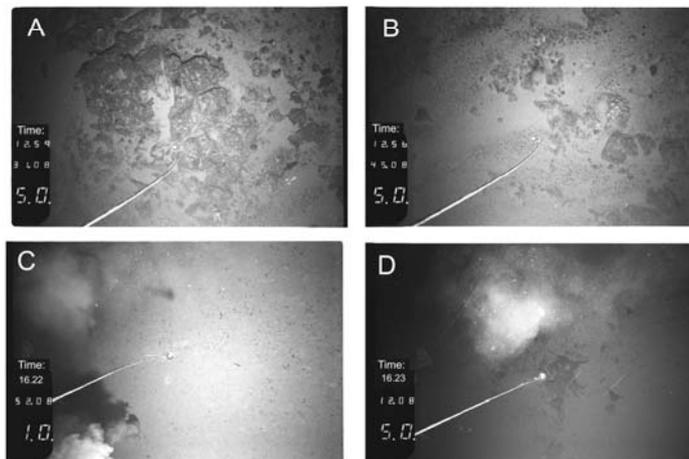
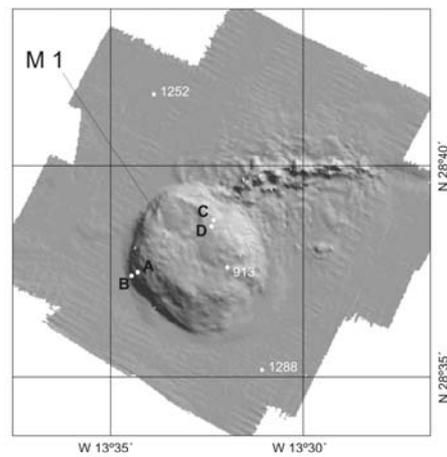


Figura 12: Arriba: Montículo volcánico M1. Abajo: Fotografías sobre el M1 mostrando en las C y D escapes de gases y fluidos.

## CONCLUSIÓN Y FUTURO DE LOS ESTUDIOS ZEEE

Para finalizar debo decir que con esta conferencia he intentado presentar de forma sintética algunos de los hallazgos más relevantes de la morfología submarina de los márgenes insulares de las Canarias que se ponen de manifiesto mediante el procesado y estudio de los datos de ecosondas multihaz.

La existencia de algunos de ellos puede tener importantes implicaciones económicas como la detección de zonas proclives a presentar desestabilizaciones del fondo marino por deslizamientos sedimentarios, hecho que puede afectar a infraestructuras apoyadas sobre el mismo (Figura 13).

Otros hechos tienen un importante componente científico al dar luz sobre zonas submarinas sujetas a antiguas controversias científicas tal como la existencia o no de avalanchas submarinas alrededor de las islas Canarias y su influencia en el proceso de construcción-destrucción de las mismas o la presencia de tectónica activa (fallas capaces) que presentan un nuevo aspecto en lo referente a la sismicidad de las Islas Canarias.

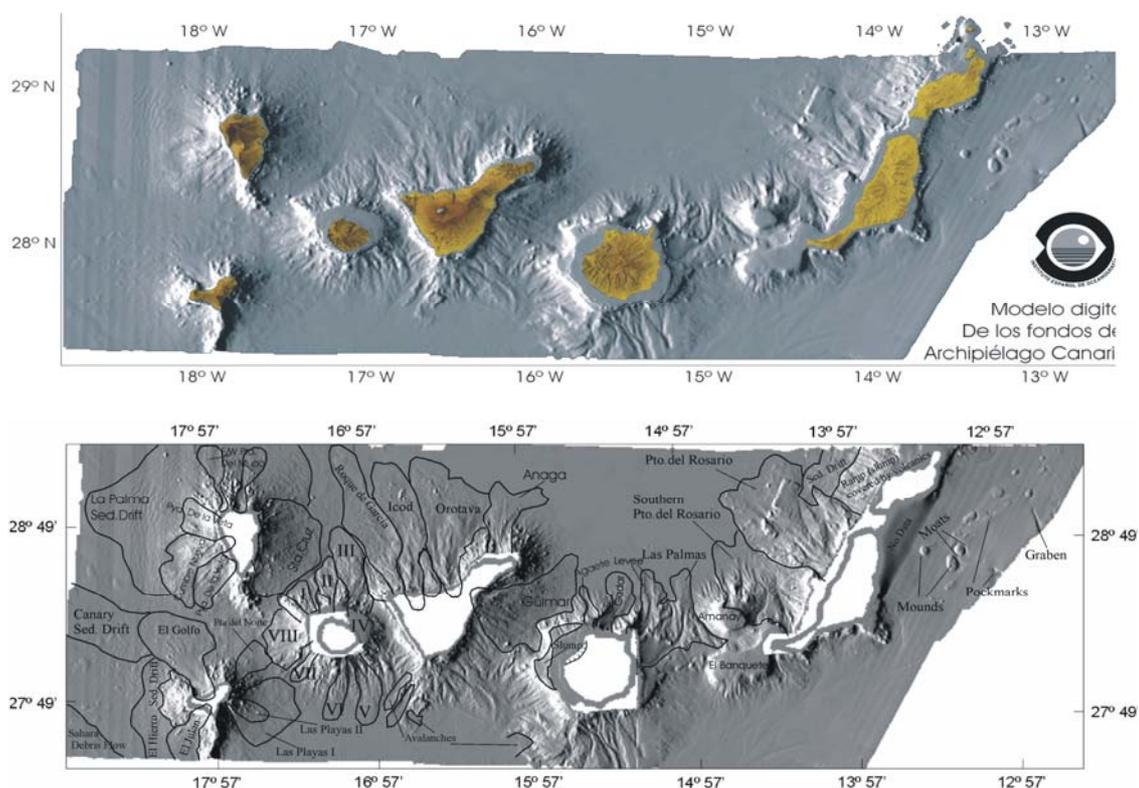


Figura 13: ARRIBA: Modelo digital del terreno del Archipiélago Canario. ABAJO: Interpretación geomorfológica.

Otra faceta importante puede ser la localización de yacimientos minerales submarinos y depósitos de áridos susceptibles de ser extraídos para regeneración de playas, o la utilización de la cartografía batimétrica para una mejor explotación de los recursos pesqueros, pero básicamente el objetivo

fundamental tal como se explicita en el Plan de trabajo de la ZEEE es el poner a disposición de toda la comunidad científica e industrial española un atlas cartográfico de nuestros fondos y subsuelo marinos para su mejor conocimiento, administración, explotación y conservación.

Finalmente el fin último de este programa en el archipiélago canario debe ser un mejor conocimiento de nuestros fondos marinos y su traslado a la sociedad canaria para una mejor la calidad de vida.

El balance de los primeros nueve años de trabajo en el programa ZEEE no puede ser más positivo, se han estudiado por completo los dos archipiélagos españoles; Baleares y Canarias y se han editado 25 mapas temáticos a escala 1:200.000 del archipiélago Balear, estando en fase de edición las correspondientes al Canario. La implicación en las campañas marinas y el uso de los datos obtenidos por parte de grupos de investigación y universidades españolas ha sido desde el comienzo muy amplia y se está reflejando en diversos trabajos científicos publicados en revistas internacionales de impacto, así como en la elaboración de tesis de licenciatura y doctorales que son la piedra de toque del rigor y calidad de los datos obtenidos.

Por último, con el comienzo del estudio del margen continental gallego en la campaña del 2001 y la posible utilización de un segundo buque oceanográfico equipado con sondadores multihaz y sonda paramétrica, el B/O Vizconde de Eza, permitirá un avance relevante en el mejor conocimiento y cartografía de ese parte de la España sumergida que constituye nuestra Zona Económica Exclusiva.

## REFERENCIAS

- Acosta J, Muñoz A, Herranz P, Palomo C, Ballesteros M, Vaquero M, Uchupi E, (2001 a). Geodynamics of the Emile Baudot Escarpment and the Balearic Promontory, western Mediterranean. *Mar. & Petr. Geol.*, 18/3: 349-369
- Teide Group, Palomo C, Acosta J, Sanz JL, Herranz P, Muñoz A, Uchupi E y Escartin J (1997). Morphometric interpretation of the northwest and southeast slopes of Tenerife, Canary islands. *Journal of Geophysical Research*, 102-B9: 20325-20342.
- Acosta J, Uchupi E, Muñoz A, Herranz P, Palomo C, Ballesteros M, ZEE Working Group (2003 a). Geologic evolution of the Older Canary Islands: Lanzarote,

- Fuerteventura, Grand Canaria and La Gomera with a Brief Description of the avalanches on the Younger Islands: Tenerife, La Palma and El Hierro, Marine Geophysical Researches, 24 (1-2): 1-40.
- Acosta J, Uchupi E, Smith D, Muñoz A, Herranz P, Palomo C, Llanes P, Ballesteros M, ZEE Working Group (2003 b). Comparison of volcanic rifts on La Palma and El Hierro, Canary Islands and the Island of Hawaii, Marine Geophysical Researches, 24 (1-2): 55-90.
- Acosta J, Uchupi E, Smith D, Muñoz A, Herranz P, Palomo C, Llanes P, Ballesteros M, ZEE Working Group (2003 c). Salt Diapirs, Salt Brine Seeps, Pockmarks and Surficial Sediment Creep and Slides in the Canary Channel off NW Africa, Marine Geophysical Researches, 24 (1-2): 41-57.
- Gonzalez de Vallejo L, Capote R, Cabrera L, Insua JM, Acosta J (2003 d). Paleoearthquake evidence in Tenerife (Canary Islands) and possible seismotectonic sources, Marine Geophysical Researches, 24 (1-2): 149-160.
- Carbó A, Muñoz-Martín A, Llanes P, Álvarez J, ZEE Working Group (2003 e). Gravity analysis offshore the Canary Islands from a systematic survey, Marine Geophysical Researches, 24 (1-2): 113-127.
- Llanes P, Muñoz A, Muñoz-Martín A, Acosta J, Herranz P, Carbó A, Palomo C, ZEE Working Group (2003 f). Morphological and structural analysis in the Anaga offshore massif, Canary Islands: fractures and debris avalanches relationships, Marine Geophysical Researches, 24 (1-2): 91-112.
- Catalán M, Martín Davila J, ZEE Working Group (2003 g). A magnetic anomaly picture offshore Canary archipelago, Marine Geophysical Researches, 24 (1-2): 129-148.
- Carracedo JC (1994). The Canary Islands: an example of structural control on the growth of large oceanic-island volcanoes, J. Vol. Geoth. Res., 60: 225-241.
- Masson DG, Watts AB, Gee MJR, Urgeles R, Mitchell NC, Le Bas TP, Canals M, (2002). Slope failures on the flanks of the Canary Islands, Earth-Sci. Rev. 57: 1-35.
- Mezcua J, Burforn E, Udías A, Rueda J (1992). Seismotectonic of the Canary Islands. Tectonophysics, 208: 447-452.
- Normark WR, Moore JG, Torresan ME, (1993). Giant-volcano related landslides and development of the Hawaiian Islands, in W.C. Schwab, H.J. Lee, and D.C. Twichell, (Eds.), Landslides, Selected Studies in the U.S. Exclusive Economic Zone, U.S. Geol. Survey Bull. 2002: 184-196

## **MODELO DE TRANSPORTE EN MASPALOMAS DEDUCIDO A PARTIR DEL ESTUDIO DE FORAMINÍFEROS, GRAN CANARIA.**

Isora Sánchez-Pérez (1) e Ignacio Alonso Bilbao (2)

(1) Departamento de Geografía, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria E-mail: isora.sanchez@uv.es; (2) Departamento de Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. E-mail: ialonso@dfis.ulpgc.es

### **INTRODUCCIÓN**

La Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas, en el extremo meridional de la isla de Gran Canaria, constituye una zona de alto valor ecológico y natural. Asimismo, sus características ambientales y paisajísticas son el principal atractivo del desarrollo turístico de esta zona. Esto le confiere, además, una gran importancia socioeconómica que supone una enorme presión sobre el medio. En el caso de Maspalomas, es de especial importancia la erosión que sufren hoy en día las dunas donde la pérdida de volumen de arena es muy considerable (Hernández, 2002; Hernández et al., 2002).

En este caso, el valor ecológico-natural y el valor socioeconómico se encuentran íntimamente relacionados. Por esta razón es importante llevar a cabo estudios con indicadores ambientales que nos ayuden a conocer mejor este importante ecosistema de cara a futuros planes de gestión que se quieran llevar a cabo.

En los últimos 30 años uno de los grupos taxonómicos que más se han utilizado como indicadores ambientales es el de los foraminíferos. En un principio sólo fueron utilizados como instrumentos de datación para fines geológicos. Sin embargo, hoy en día han ido cobrando importancia los trabajos científicos relacionados con este grupo, pues han demostrado su validez para llevar a cabo interpretaciones ecológicas, ambientales, oceanográficas, climáticas, etc., tanto actuales como del pasado.

Los foraminíferos son organismos unicelulares fundamentalmente marinos que poseen en la mayoría de los casos una concha calcárea, la cual se conserva con facilidad, llegando incluso a fosilizar. Esta característica, unida a

su gran abundancia, diversidad y su sensibilidad a los cambios medioambientales, convierten a este grupo en una excelente herramienta para estudios ecológicos y ambientales (Murray, 1991; Donnici y Barbero, 2002).

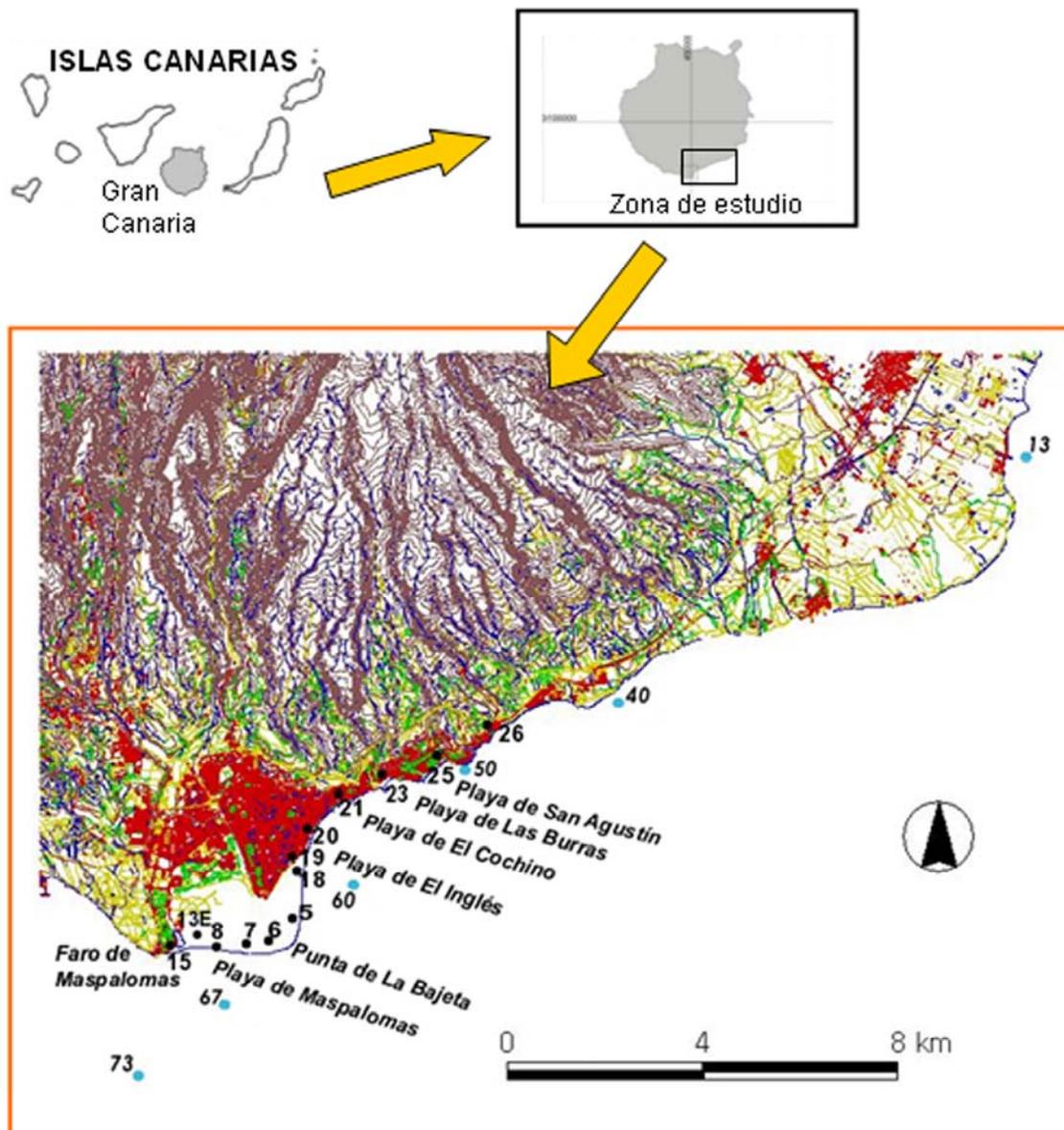


Figura 1: Localización del área de estudio con indicación de los puntos de muestreo

El estudio de los foraminíferos es una herramienta utilizada en el análisis de los procesos litorales actuales (Alejo et al., 1999), en el establecimiento de

semejanzas y diferencias entre procesos litorales actuales y del pasado (Alcántara-Carrió, 2000; Alonso et al., in press), así como la evolución de la línea de costa, efectos de mareas o cambios eustáticos (Wang and Murray, 1983; Dupré et al., 1988; Yamano et al., 2001), eventos de alta energía que provoquen, por ejemplo, depósitos de flash flood (Leduc et al., 2002), de overwash (Hippensteel y Martin, 1999) o depósitos de tsunamis (Williams, 1999).

Los primeros trabajos de foraminíferos de las Islas Canarias datan del siglo XIX. En 1826 el museo de Historia Natural de Paris organiza una expedición en la que participa uno de los grandes naturalistas de la época, Alcides D'Orbigny, cuyo trabajo en las islas fue posteriormente revisado por Le Calvez (1974).

Tuvo que pasar mucho tiempo hasta que los estudios de foraminíferos en Canarias fueran retomados por otros investigadores. Por ello se trata de un grupo taxonómico muy poco estudiado hasta la fecha en nuestro archipiélago. Los últimos trabajos realizados (Sánchez-Pérez et al., 2005) permiten estimar que el número de especies puede llegar a sobrepasar las 100, lo que da idea de la gran diversidad que es posible encontrar, tanto de especies planctónicas como bentónicas, y de la enorme riqueza de los fondos de las Islas Canarias.

El presente trabajo aborda el estudio de la dinámica sedimentaria actual en Maspalomas utilizando como herramienta la micropaleontología. Para ello se ha analizado el contenido en foraminíferos de los sedimentos de la plataforma, dunas y playas de Maspalomas. De esta manera, se pretende comprender mejor los procesos sedimentarios litorales de la zona de estudio, así como mejorar el conocimiento de este grupo taxonómico.

## 1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se sitúa en el extremo meridional de la Isla de Gran Canaria (Fig. 1). El campo de dunas de Maspalomas se encuentra situado sobre una antigua terraza aluvial producto de la acumulación de derrubios arrastrados por los barrancos que constituyen la cuenca de Fatiga. Ocupa una superficie aproximada de 3 km<sup>2</sup> y está limitado por la urbanización turística y un campo de golf al norte, por el barranco de Fatiga al oeste y dos grandes

playas: El Inglés y Maspalomas, orientadas al este y al sur respectivamente. Ambas confluyen en la denominada punta de La Bajeta (Fig. 2).



Figura 2: Foto aérea de Maspalomas (2006)

En estas playas la variación de la línea de costa en las últimas décadas ha sido de unos 50 m, mientras que la zona de mayor variabilidad es la punta de La Bajeta, donde la línea de costa ha experimentado avances y retrocesos de unos 300 m (Alonso et al., 2001).

Los vientos dominantes en Gran Canaria son los alisios de componente NNE. Sin embargo, al sur de la isla estos vientos se refractan como consecuencia de la propia topografía de la isla. Debido a esto, en Maspalomas confluyen tanto vientos de componente ENE y del W.

En lo que al medio marino se refiere, los estudios dedicados a la franja de playa sumergida y a la plataforma en Maspalomas, como el régimen de corrientes y de oleaje son muy escasos. Sin embargo, estos estudios son

fundamentales ya que es precisamente ahí donde se encuentra la fuente de sedimentos que alimenta al resto del sistema playa–duna. En este sentido cabe mencionar el trabajo de Alonso et al. (2001), que aporta algunos datos sedimentológicos de la franja de playa y del clima marítimo de esta zona. De este trabajo se extraen interesantes características granulométricas del sedimento como que el mejor grado de clasificación se ha observado en la playa de Maspalomas, lo que indicaría, según estos autores, el aporte de arenas eólicas por parte del campo dunar hacia esta playa.

## **2. METODOLOGÍA**

### **Trabajo de campo**

Las localidades que se han elegido para este trabajo van desde Morro Besudo hasta el Faro de Maspalomas. Para realizar el presente estudio se recogió material de diferentes ambientes costeros a fin de relacionar el contenido en foraminíferos entre ellos. Se tomaron un total de 19 muestras, 6 de las cuales corresponden a sedimentos marinos sumergidos, 11 a sedimentos de playa y 3 a sedimentos procedentes de dunas eólicas actuales (Fig. 1). La localización de los puntos de muestreo se realizó mediante GPS.

### **Trabajo de laboratorio y gabinete**

Se empleó un volumen fijo de 3 cm<sup>3</sup> para el análisis del contenido en foraminíferos de cada muestra. Con dicho material se llevaron a cabo las siguientes tareas:

- Lavado con agua dulce y tamizado bajo malla de 63 µm.
- Flotación con tetracloruro de carbono.
- Secado.

La flotación con líquidos densos, como el tetracloruro, facilita la labor de separación de los foraminíferos. De esta forma, los caparazones de los individuos se mantienen en el sobrenadante y el resto del sedimento se deposita en el fondo.

Los levigados resultantes del procesado en el laboratorio de las muestras se observaron bajo lupa binocular y se extrajeron los foraminíferos.

El material fue clasificado de acuerdo con Loeblich y Tappan (1987) y colocado en celdillas de portaforaminíferos. Los ejemplares se agruparon por especies para facilitar los posteriores estudios estadísticos. En este sentido se realizaron análisis mediante Cluster Q-modales, que permiten establecer las posibles relaciones entre las diferentes muestras y consecuentemente entre zonas, tanto del medio marino como del terrestre. Para ello se utilizó el programa estadístico NTSYSpc2 (Rohlf, 2002) empleando como distancia numérica la Distancia de Manhattan.

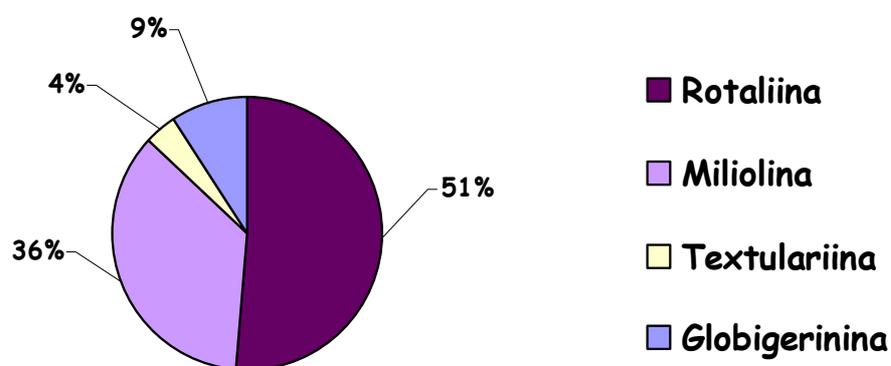


Figura 3: Distribución de especies en los diferentes subórdenes

### 3. RESULTADOS

Se extrajeron y clasificaron un total de 3179 individuos pertenecientes a 76 especies diferentes, de las cuales 39 pertenecen al suborden Rotaliina, 27 a Miliolina, 3 a Textulariina y 7 a Globigerinina (organismos planctónicos).

El mayor número de especies se agrupa dentro del suborden Rotaliina con un 51% de representatividad y le sigue el suborden Miliolina con un 36%. En menor proporción se encuentra el suborden Globigerinina con un 9% y Textulariina con tan sólo un 4% del total (Fig. 3).

Ambiente	Muestra	Prof. (m)	Número de individuos en 3 cm <sup>3</sup>	Número total de especies por muestra
Plataforma	Masp.13	17	231	30
	Masp.50	11	90	18
	Masp.40	12	104	22
	Masp.67	16	401	26
	Masp.73	45	1681	54
	Masp.60	22	756	27
Playa	Masp.26 (pl. Aguila)		1	1
	Masp.25 (pl. San Agustín)		14	9
	Masp.23 (pl. Las Burras)		154	18
	Masp.21 (pl. El Cochino)		167	26
	Masp.20 (pl. El Inglés N)		60	15
	Masp.18 (pl. El Inglés)		53	18
	Masp.5 (pl. El Inglés S)		2	2
	Masp.6 (punta La Bajeta)		0	0
	Masp.8 (pl. Maspalomas)		0	0
	Masp.15 (faro Maspalomas)		22	11
Dunas	Masp.19		9	6
	Masp.7		1	1
	Masp.13E		0	0

Tabla 1: Abundancia y número de especies en las diferentes muestras

Las especies más abundantes del total encontrado, en orden decreciente, fueron: *Quinqueloculina quadrata* Nörvang 25'64%, *Quinqueloculina berthelotiana* D'Orbigny 12'93%, *Cibicides refulgens* Montfort 12'17%, *Lobatula lobatula* (Walker & Jacob) 5'85%, *Ammonia beccarii* (Linné) 4'94%, *Globigerinoides sacculifer* (Brady) 4'28%, *Massilina secans* (D'Orbigny) 3'21% y de *Globigerinoides ruber* (D'Orbigny) 3'18%. El resto de especies representa un 28'04% (Fig. 4). Sin embargo, la asociación dominante de cada muestra varía considerablemente según se trate de muestras de plataforma, playa o dunas.

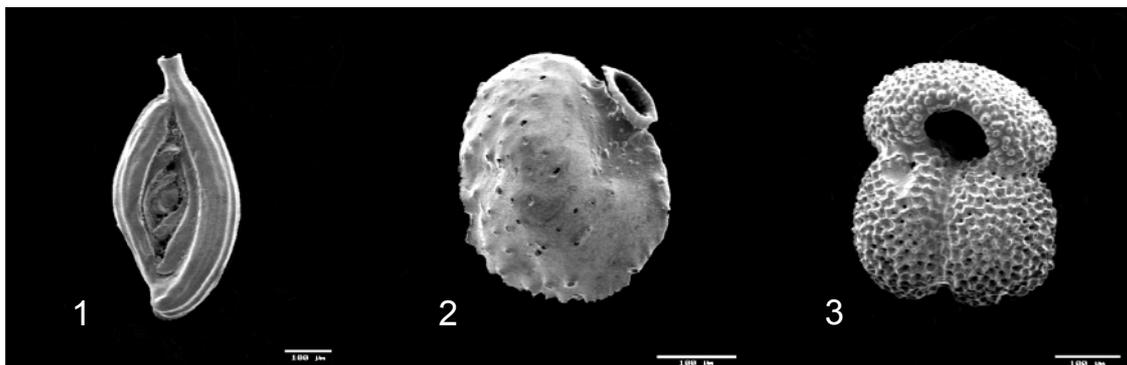


Figura 5: (1) *Spiroloculina venusta* Cushman & Todd, scale bar=100 µm (2) *Siphonina reticulata* (Czjzek), scale bar=100 µm (3) *Globigerinoides ruber* (D'Orbigny), Scale bar=100 µm.

La tabla 1 presenta los datos de abundancia y número de especies encontradas en cada una de las muestras. Como puede apreciarse, en lo que se refiere a los sedimentos de la plataforma, las muestras con mayor densidad de foraminíferos fueron Masp.73, Masp.67 y Masp.60. Las muestras de plataforma Masp.40 y Masp.50, localizadas más al N, tienen una menor densidad de organismos y a diferencia de las anteriores, no contienen foraminíferos planctónicos.

Dentro de las muestras de playa destacan Masp.21 y Masp.23, correspondientes a las playas de El Cochino y Las Burras respectivamente, por su mayor cantidad de foraminíferos con respecto al resto. A éstas le siguen Masp.20 y Masp.18, situadas en la playa de El Inglés y Masp.15 que corresponde con una muestra tomada en el extremo de la playa de Maspalomas, frente al Faro. La muestra Masp.20 es la única entre las de playa y dunas que posee un representante del Suborden Globigerinina (foraminíferos planctónicos). Las muestras Masp.6 y Masp.8, situadas en la playa de Maspalomas no contienen ningún foraminífero.

En el caso de las muestras tomadas en las dunas, es Masp.19, localizada en el primer cordón dunar frente a la playa de El Inglés, la que contiene el mayor número de foraminíferos, con 9 individuos. Por el contrario, las dos muestras tomadas en las dunas frente a la playa de Maspalomas (Masp.7 y Masp.13E) solo contienen 1 y 0 caparazones respectivamente.

Los datos obtenidos sirvieron de base para llevar a cabo un análisis cluster cuyo dendrograma se representa en la figura 5.

## 4. DISCUSIÓN

### Playas y dunas

Las muestras correspondientes a la línea de costa y dunas muestran un máximo de abundancia en la muestra Masp.21, correspondiente a la playa de El Cochino, desde donde hay un descenso de foraminíferos tanto hacia el E como hacia el SW. Partiendo de este punto de máxima abundancia, en las playas situadas más hacia el NE (playas de Las Burras, San Agustín y El Águila) se observa que el contenido en foraminíferos decrece a medida que aumenta la distancia desde dicho punto. Lo mismo ocurre al desplazarnos hacia el SW, pues las distintas muestras recogidas a lo largo de la playa de El Inglés hasta la Punta de La Bajeta muestran un descenso gradual del contenido en individuos. En la playa de Maspalomas desaparecen completamente los caparzones de foraminíferos excepto en su extremo más occidental, en las proximidades del Faro de Maspalomas (Masp.15).

Las muestras de dunas analizadas se pueden dividir por un lado, entre Masp.13E y Masp.7, ambas localizadas al sur, y por otro Masp.19 que presenta algunos caparzones de foraminíferos y se localiza al norte, cercana a la playa de El Inglés. Esto hace suponer que desde las playas de El Inglés (muestras Masp.18 y Masp.20) hay aportes eólicos hacia las dunas (muestra Masp.19). Sin embargo, la escasez de caparzones de foraminíferos en las dunas localizadas frente a la playa de Maspalomas (Masp.13E y Masp.7), indica que o bien los aportes no se están produciendo en esta dirección o bien que los caparzones de foraminíferos se han perdido en el transporte debido a procesos tafonómicos.

### Muestras de plataforma

Los resultados obtenidos muestran, en el caso de los sedimentos procedentes de la plataforma, que la abundancia de caparzones de foraminíferos disminuye desde el SW hacia el NE.

Las muestras Masp.73 y Masp.67 contienen una gran cantidad de foraminíferos, entre los que destacan especies como *Lobatula lobatula* (Walker & Jacob) y *Cibicides refulgens* Montfort. Estas son especies cosmopolitas que viven en áreas caracterizadas por fuertes corrientes de fondo con transporte lateral de partículas orgánicas (Mackensen et al., 2000). Tanto la densidad como la composición en especies de esta muestra sugieren la existencia de

partículas de sedimentos susceptibles de ser transportadas y la existencia de un medio con las características necesarias para que se produzca dicho transporte. Estas muestras se sitúan frente a la playa de Maspalomas, donde prácticamente no hay organismos. Todo ello permite deducir que se trata de una zona con un fuerte transporte, pero que éste no es hacia la costa.

La muestra Masp.60, situada justo frente a la Playa de El Inglés, es la única donde aparecen individuos de las especies *Trochammina inflata* (Montagu) o *Eggerelloides scabrum* (Williamson). Estas especies se caracterizan por tener caparazones muy frágiles y son propias de ambientes muy poco energéticos, por lo que suelen encontrarse en ambientes de marismas (Sen Gupta, 2002). La presencia de estas especies y su buen estado de conservación indica un ambiente de baja energía.

El contenido de foraminíferos en las playas y dunas está, lógicamente, condicionado por la presencia de éstos en la plataforma. Sin embargo, dicha presencia en zonas sumergidas no asegura que se encuentren en los ambientes emergidos. Ello puede ser debido a la falta de corrientes capaces de producir un transporte efectivo, a que éstas no se dirijan hacia la costa, a procesos tafonómicos o bien a la conjunción de varios de estos factores.

### **Modelo de transporte**

Los datos obtenidos apuntan a la existencia de un transporte paralelo a la costa de Maspalomas en dirección SW-NE, que en gran medida estaría condicionado por las condiciones oceanográficas de la zona. En este sentido, y a falta de un estudio detallado del régimen de corrientes y oleaje en la zona, hay que tener en cuenta el efecto sombra que genera la propia isla, fruto del cual se generan gran cantidad de estructuras oceanográficas mesoescalares que alteran la pauta general de corrientes en Canarias. La existencia de dichas estructuras se refleja, por ejemplo, en la formación de remolinos (Hernández-Guerra et al., 1993; Borges et al. 2004) y en la constatación de que durante periodos de varios meses seguidos la corriente fluye hacia el N (Hernández-Guerra et al. 2003).

A menor escala la configuración de la línea de costa y la batimetría de la zona también favorece la formación de bucles o giros que modifican localmente esa pauta general de transporte paralelo a la costa en dirección SW-NE. Esto es lo que ocurre al E de playa de El Inglés, donde se forma un bucle que permitiría el transporte y deposición de partículas hacia las playas de Las Burras, El

Cochino y El Inglés. A lo largo de esta última playa la corriente toma una dirección N-S paralela a la orilla, donde deposita parte de los materiales que arrastra. Una fracción de éstos pasaría a integrarse en el sistema dunar impulsada por los vientos dominantes. En su último tramo el bucle se cierra sobre sí mismo (Fig. 6). La muestra Masp.60 se localizaría aproximadamente en el centro de dicho bucle donde las corrientes son casi nulas. Ello explica la buena conservación de los caparazones de *Trochammina inflata* y *Eggerelloides scabrum*.

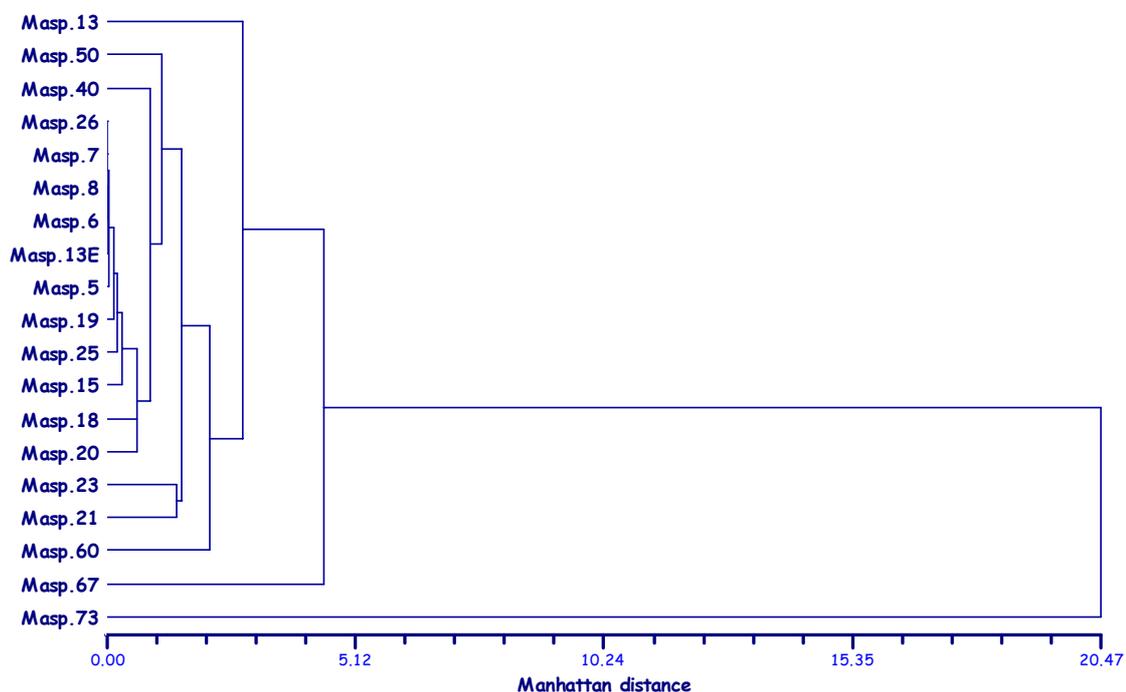


Figura 6: Cluster resultante del análisis cuantitativo empleando la Distancia de Manhattan

En este sentido, cabe destacar que individuos planctónicos de la especie *Globigerinoides ruber* sólo se han encontrado en las muestras Masp.73, Masp.67, Masp.60 y Masp.20 (esta última en el extremo N de la playa de El Inglés), con 82, 10, 2 y 1 individuo respectivamente. Este gradiente parece indicar la existencia de un flujo desde las zonas más profundas hacia el límite septentrional de playa de El Inglés. La alta cantidad de estos caparazones encontrada en la muestra Masp.73 se debe a que fue tomada a mucha mayor

profundidad que las demás (Tabla 1), pues los foraminíferos planctónicos requieren de una columna de agua relativamente importante para desarrollar su ciclo vital (Hemlebem et al., 1989; Arnold and Parker, 1999). Es por ello que, en general, sus caparazones se acumulan en zonas profundas, por lo que es más difícil que lleguen a la orilla. De ahí la escasa presencia que tienen en la costa.

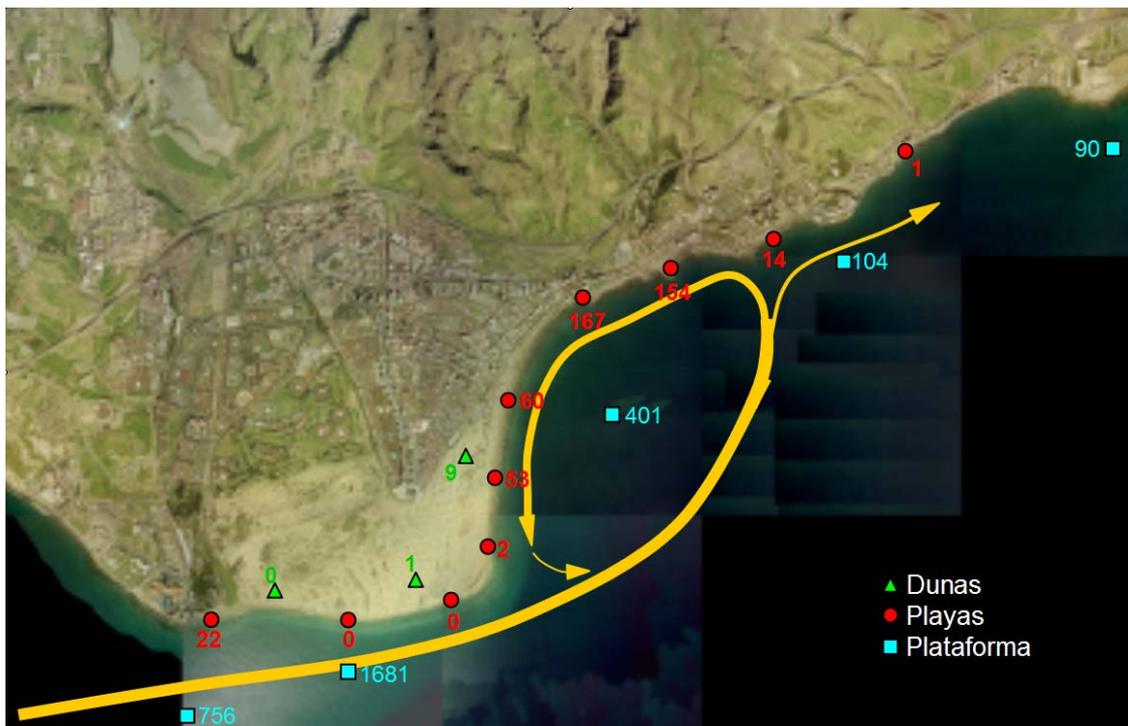


Figura 7: Modelo de transporte propuesto. Los valores indican la abundancia de foraminíferos en cada muestra

Además, la gran abundancia de foraminíferos en las muestras de plataforma Masp.73 y Masp.67, y la total ausencia de estos organismos en las muestras Masp.6 y Masp.8, situadas frente a las anteriores en la playa de Maspalomas, indica que el transporte en esta zona no es hacia la costa, por lo que tiene que ser paralelo a ella. Tanto el gradiente de caparazones que se observa en las muestras de plataforma como la asociación de especies que presentan revelan un transporte hacia el NE, a partir del cual se derivaría el bucle anteriormente mencionado.

Esto concuerda parcialmente con lo expuesto por diferentes autores (Martínez, 1990; Hernández, 2002), que proponen que la playa de El Inglés se corresponde con la zona de entrada de sedimentos al sistema dunar. Sin embargo estos autores plantean que Maspalomas forma parte de un sistema sedimentario cerrado que se alimenta gracias a los materiales arrastrados por las corrientes del NE. Por el contrario, los datos expuestos en este trabajo sugieren que la principal fuente de sedimentos estaría situada al SW, desde donde serían distribuidos hacia el NE por la corriente representada en la figura 6.

Por otro lado, los escasos trabajos realizados sobre las características sedimentológicas de la plataforma en esta zona de la isla (Criado et al., 2001-02; Ortega, 2006) indican la existencia de un doble gradiente en el contenido en carbonato cálcico, que se manifiesta en un aumento de éste tanto hacia el SW como con la profundidad. De este modo, las zonas someras situadas próximas a Morro Besudo tienen contenidos en bioclastos inferiores al 10-30%, que sin embargo aumentan hasta el 70-90% en las inmediaciones del Faro de Maspalomas. Este patrón no podría darse de existir un transporte significativo NE-SW, pues de ser así la playa de El Inglés y las dunas tendrían una proporción de materiales terrígenos mucho mayor de la que tienen.

## 5. CONCLUSIONES

El estudio de foraminíferos realizado en este trabajo permite proponer un modelo de transporte en la zona, según el cual estos organismos –al igual que aquellas partículas del sedimento con similares propiedades hidrodinámicas- se desplazarían de modo paralelo a la playa de Maspalomas en sentido SW-NE. Una vez sobrepasada la punta de La Bajeta las partículas proseguirían su curso impulsadas por la corriente hacia el NE, si bien cabe suponer que la velocidad de la corriente sería menor por efecto de la batimetría. La proximidad de la costa a la altura de la playa de Las Burras determinaría que la corriente se dirija hacia el SW formándose un bucle que se cierra sobre sí mismo tras bordear la playa de El Inglés.

Este modelo de transporte se fundamenta en los siguientes puntos:

- La presencia de *Lobatula lobatula* y *Cibicides refulgens* en los sedimentos sumergidos frente a la playa de Maspalomas revela un medio con importantes corrientes de fondo. Además, la ausencia de foraminíferos en la playa de Maspalomas indica que estas corrientes no se dirigen hacia la costa sino paralelas a ella.
- Las asociaciones encontradas y la disminución de la abundancia de foraminíferos en la plataforma a medida que nos desplazamos hacia el NE, indica que estas partículas están siendo transportadas en esa dirección. De este modo la principal fuente de sedimentos estaría situada al SW.
- La presencia de *Trochammina inflata* y *Eggerelloides scabrum* en la muestra Masp.60 y su buen estado de conservación indica ambientes muy poco energéticos, como cabe esperar al localizarse en el centro del bucle.
- Se han encontrado algunos caparazones en la zona de dunas más próxima a la playa de El Inglés, lo que confirma la entrada de sedimentos por dicha playa.
- La presencia de estructuras artificiales, como los espigones de las playas de Las Burras y El Cochino favorece la acumulación local de sedimentos marinos, lo que explica la alta abundancia de foraminíferos encontrada en esas playas.

Habida cuenta de la complejidad del funcionamiento del complejo sedimentario de Maspalomas, y teniendo en cuenta las limitaciones de este trabajo, se hace patente la necesidad de ampliar éste y otros estudios que permitan esclarecer las causas de la pérdida sedimentaria que sufre actualmente este sistema dunar. Entre los aspectos a ampliar en los estudios de foraminíferos hay que destacar la conveniencia de recolectar mayor número de muestras, de realizar estudios de biocenosis y de llevar a cabo muestreos estacionales que permitan confirmar o modificar el modelo de transporte propuesto.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al proyecto de investigación "Modelización de los procesos naturales y análisis de las consecuencias ambientales inducidas por el turismo en la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias)", financiado por el Plan Nacional I+D+I del Ministerio de Ciencia y Tecnología (REN2003-05947/GLO).

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcántara-Carrió J, Diz P, Alejo I, Francés G, Alonso I y Vilas F (2000). Contenido en foraminíferos de los depósitos eólicos del itmo de Jandia (Fuerteventura). *Geogaceta*. 27: 195-197.
- Alejo I, Austin W, Frances G y Vilas F (1999). Preliminary investigations of the recent foraminifera of Baiona Bay, NW Spain. *Journal of Coastal Research*. 15 (2): 413-427.
- Alonso I, Montesdeoca I, Vivares A y Alcántara 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 I, Sánchez Pérezl, Cabrera L, Benavides A, Alcántara J y Usera J (2007) Decadal evolution of a coastal dune field and adjacent beaches at North of Fuerteventura (Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Research*. (in press).
- Arnold AJ y Parker WC (1999). Biogeography of planktonic Foraminifera. In: *Modern Foraminifera*. Ed. Barun K. Sen Gupta. Kluwer Academic Publishers: 103-122.
- Borges R, Hernández-Guerra A y Nykjaer L (2004). Analysis of sea surface temperature time series of the south-eastern North Atlantic. *International Journal of Remote Sensing*. 25 (5): 869-891.
- Criado C, González R y Yanes A (2001-02). Rasgos sedimentológicos de los fondos marinos de Maspalomas (Gran Canaria) *Vegueta*, 6: 191-200.
- Donnico S y Barbero RS (2002). The benthic foraminiferal communities of the northern Adriatic continental shelf. *Marine Micropaleontology*, 44: 93-123.
- Dupré M, Fumanal MP, Sanjaume E, Santiesteban, C, Usera J y Viñals MJ (1988). Quaternary evolution of the Pego coastal lagoon (Southern Valencia, Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 68: 291-299.

- Hemleben CH, Spinler M y Anderson OR (1989). *Modern Planktonic Foraminifera*. Springer-Verlag, New York, 363 pp.
- Hernández L (2002). Análisis de la evolución del sistema de dunas de Maspalomas, Gran Canaria, Islas Canarias (1960-2000). Tesis Doctoral (Inédita). Departamento de Geografía, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 408 pp.
- Hernández L, Alonso I, Ruiz P, Pérez-Chacón E, Suárez C, y Alcántara J (2002). Decadal environmental changes on the dune field of Maspalomas (Canary Island): Evidences of an erosive tendency. In: *Littoral 2002*, 3: 293-297.
- Hernández-Guerra A, Arístegui J y Cantón M (1993). Phytoplankton pigment patterns in the Canary Islands area as determined using Coastal Zone Colour Scanner data. *International Journal of Remote Sensing*. 14, 7: 1431-1437.
- Hernández-Guerra A, Fraile-Nuez E, Borges R, López-Laatzén F, Vélez-Belchí P, Parrilla G y Müller T (2003). Transport variability in the Lanzarote passage (eastern Boundary current of the North Atlantic subtropical Gyre). *Deep-Sea Research I*, 50: 189-200.
- Hippensteel SP y Martin RE (1999). Foraminifera as an indicator of overwash deposit, Barrier Island sediment supply, and Barrier Island evolution: Folly Island, South Carolina. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 149: 115-125.
- Le Calvez Y (1974). Revisión des foraminifères de la collection d'Orbigny. I. Foraminifères de l'les Canaries. *Cahiers de Micropaléontologie*, 2, 107 pp.
- Leduc J, Bilodeau G, De Verneal A y Mucci A (2002). Distribution of benthic foraminiferal populations in surface sediments of the Saguenay Fjord, before and after the 1996 flood. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 180: 207-223.
- Loeblich AR Jr y Tappan H (1987). *Foraminiferal Genera and Their Classification*. Ed: Van Nostrand Reinhold Company, New York, 970 pp.
- Mackensen A, Schumacher S, Radke J y Schmidt DN (2000). Microhabitat preferences and stable carbon isotopes of endobenthic foraminifera: clue to quantitative reconstruction of oceanic new production?. *Marine Micropaleontology*, 40: 233-258.
- 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. Teruel: 351-243.
- Murria JW (1991). Ecology and distribution of benthic foraminifera. In: *Biology of foraminifera* (eds. Lee and Anderson), Academic press, New cork: 221-254.

- Ortega A (2006). Caracterización textural y composicional de sedimentos de la plataforma de Gran Canaria. TISC, Facultad de Ciencias del Mar, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 38 pp.
- Rohlf FJ (2002). NTSYSpc: Numeral Taxonomy System, ver. 2.1. Exeter Publishing, Ltd.: Setauket, New York.
- Sánchez-Pérez I, Alonso I y Usera J (2005). Sediment inputs from the upper shelf towards the beaches and dunes of Maspalomas (Gran Canaria) by means of foraminiferal analysis. *Journal of Coastal Research Special Issue* 49: 46-51.
- Sen Gupta BK (2002). Foraminifera in marginal marine environments. In: *Modern Foraminifera*. B.K. Sen Gupta (Ed.) Kluwer Academic Publ.: 151-159.
- Yamano H, Kayanne H y Yonekura N (2001). Anatomy of modern coral reef flat: a recorder of storms and uplift in the late Holocene. *Journal of Sedimentary Research*. 71 (2): 295-304.
- Wang P y Murria JW (1983). The use of foraminiferal as indicators of tidal effects in estuarine deposits. *Marine Geology*, 51 (3-4): 239-250.
- Williams HFL (1999). Foraminiferal distributions in tidal marshes bordering the strait of Juan de Fuca: implications for paleoseismicity studies. *Journal of Foraminiferal Research*, 29 (3): 96-208.

## CONDICIONANTES DE LA MODELACIÓN DEL FLUJO DEL ACUÍFERO DE LA ALDEA (GRAN CANARIA)

Tatiana Cruz\*, Maria del Carmen Cabrera\* y Javier Heredia\*\*

(\*) Dpto. de Física. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. E-mail: tcruz@becarios.ulpgc.es; mcabrera@dfis.ulpgc.es

(\*\*) Instituto Geológico y Minero de España. Ríos Rosas 23, 28003. Madrid. E-mail: j.heredia@igme.es

### RESUMEN

El acuífero de La Aldea en la isla de Gran Canaria (España), constituye una de las fuentes principales de suministro de agua para la agricultura intensiva que se desarrolla en la zona. La existencia de numerosos datos hidrogeológicos procedentes de estudios previos (poner varias referencias) ha propiciado la elaboración de un modelo numérico de flujo que permitiera simular el funcionamiento hidrogeológico en la misma. El sistema acuífero consta de una unidad aluvial de 6 km<sup>2</sup> de superficie y una profundidad media de 20 m que se coloca sobre Basaltos Miocenos poco permeables, pertenecientes a la fase de crecimiento en escudo de la isla. Dentro de la hidrogeología insular, la zona constituye un área de descarga hacia el mar en la que la circulación del agua subterránea se produce de este a oeste.

La modelación se ha abordado mediante la utilización del código Modflow y ha permitido la simulación de una piezometría inicial real para el año 1992 y conocer con mejor precisión las características hidrogeológicas del acuífero.

*Palabras clave: Modelación numérica, modelo conceptual, balance hídrico, Gran Canaria, Acuífero de La Aldea.*

### INTRODUCCIÓN

La isla de Gran Canaria presenta una morfología cónica con orografía irregular formada por una serie de barrancos radiales que nacen en el centro

de la isla y desembocan en el mar. A escala global, se considera que funciona como un acuífero único (SPA-15, 1974; Custodio y Cabrera, 2002) en el que la recarga por infiltración de agua de lluvia tiene lugar en las cumbres y medianías de la isla, circulando preferentemente en sentido vertical hasta alcanzar una cierta profundidad en la que pasa a tener una tendencia horizontal. La descarga se produce en las zonas costeras, que es donde además, tiene lugar la mayor proporción de retornos de riego.

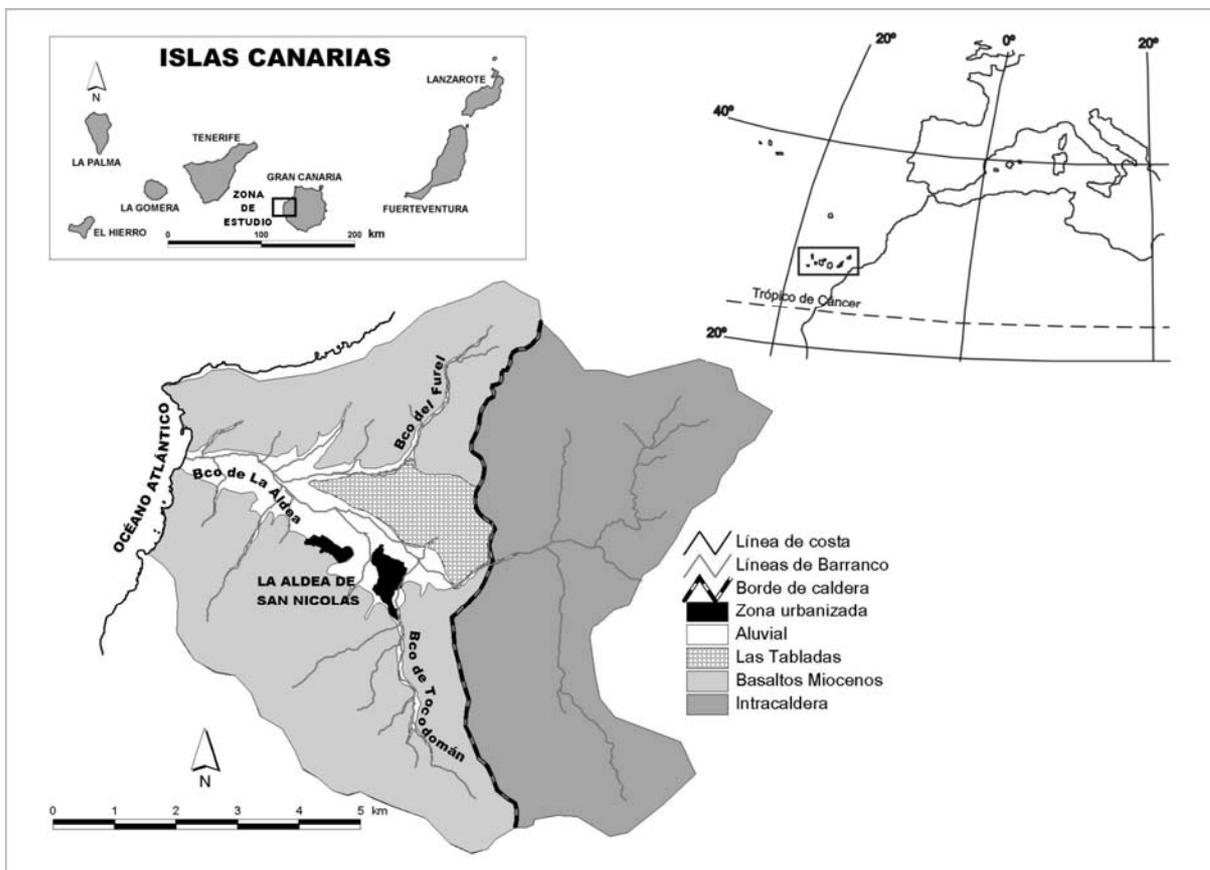


Figura 1: Situación geográfica y distribución de los dominios hidrogeológicos de la zona de estudio.

El barranco de Tejeda-La Aldea, situado al oeste de la isla de Gran Canaria, representa la mayor cuenca de la isla (180 km<sup>2</sup>). En su parte interna presenta un relieve escarpado, mientras que en su tramo final el cauce se abre y configura un valle abierto de fondo plano rodeado por fuertes escarpes. En este

último tramo se encuentra la zona de estudio (Figura 1). Presenta una dirección principal este-oeste y en él desembocan los barrancos secundarios del Furel por el norte y Tocodomán por el sur.

La precipitación media anual de la zona oscila entre los 195 mm en la estación pluviométrica situada a mayor altura (345 m) y 162 mm en la zona de costa. La mayoría de las lluvias se concentran entre los meses de octubre y abril y la temperatura media es de 20.5 °C. La zona está sometida a sequías frecuentes con episodios de lluvias torrenciales, que alimentan las reservas de agua del suelo y producen escorrentía superficial en las zonas altas de la cuenca que van a parar a tres presas situadas en la zona media del Barranco. Cuando estas presas rebosan, se produce escorrentía por el cauce del barranco aguas abajo de las mismas. La zona se dedica a la agricultura intensiva, sobre todo de tomate en invernadero, con una superficie de cultivo media de 470 ha y un consumo medio de 5 hm<sup>3</sup>·a<sup>-1</sup> en los 5 últimos años (Extensión Agraria en La Aldea com. per., 2004).

## 1. GEOLOGÍA Y GEOMETRÍA

Con una superficie de 44 km<sup>2</sup>, en la zona afloran fundamentalmente materiales pertenecientes a la fase de construcción en escudo de la isla (Basaltos Miocenos, de 14.5 a 14 Ma) recubiertos parcialmente por materiales sedimentarios de diversas edades. Los sedimentos aluviales localizados en el fondo del barranco tienen un contorno claro y fácilmente delimitable, con una superficie de 6 km<sup>2</sup> aproximadamente. Su profundidad media es de 20 m. Asociados al aluvial principal hay derrubios de ladera y glacis – conos sobre las laderas de los Basalto Miocenos. Los Basaltos Miocenos ocupan mayor superficie en la zona de estudio pertenecen al Tramo Inferior Basáltico (ITGE, 1990), conformando la base del acuífero. También se encuentran coladas del Tramo Superior de los Basaltos Miocenos en escudo que se van superponiendo a las del Tramo Inferior y se distribuyen por las laderas norte y sur del barranco principal, así como hacia la cabecera, en la zona este. En la zona noreste del valle de La Aldea se encuentra un relieve residual que alcanza los 200 m de altitud, separando el valle de La Aldea del barranco secundario del Furel, conocido como Las Tabladas (Figura 1). Este relieve tiene como base los Basaltos en Escudo y afloran distintos materiales

volcánicos y sedimentarios. Al este de la zona de estudio y fuera de ésta, se localiza la formación intra-caldera (Figura 1). En la zona existen un gran número de diques de dirección preferente este-oeste y naturaleza basáltica (Muñoz, 2005).

Los límites de la zona de estudio están definidos por las cadenas montañosas que son límites de divisoria de aguas y fijan los límites norte y sur; la línea de costa al oeste y el borde de la Caldera de Tejeda (Formación intra-caldera) al este.

## 2. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

En la zona de estudio, se distinguen dos unidades hidrogeológicas muy claras: en superficie se encuentra una unidad aluvial situada en el fondo del barranco y debajo de esta se encuentran los Basaltos Miocenos anteriormente citado. Se trata, pues, de un acuífero bicapa: por un lado la unidad aluvial formado por conglomerados de matriz arcillo-arenosa y permeabilidad alta y por otro lado el acuífero basáltico con baja permeabilidad, aunque no nula (Muñoz, 2001).

Dada la necesidad de poner un límite inferior a los basaltos para la realización del modelo, este límite se ha situado a  $-143$  m, coincidiendo con un límite localizado en un sondeo profundo existente en el centro del Barranco. Este límite indica el contacto entre basaltos alterados (más permeables) y basaltos sin alterar (menos permeables) que se ha localizado en un sondeo a cota  $-143$  metros.

La mayor parte de la recarga natural se produce por infiltración directa de agua de lluvia en la zona del acuífero aluvial y los primeros metros del basalto, que vierte el agua al aluvial, por lo que el flujo se dirige hacia la zona del aluvial desde los bordes norte y sur y de oeste a este en el centro del valle, descargando en el mar. Otras fuentes de recarga son la entrada de agua por la cabecera del barranco, los retornos de riego, pérdidas e la red de abastecimiento y la infiltración en la escorrentía. La principal fuente de descarga natural es la descarga al mar junto con la evapotranspiración y las extracciones por bombeo para riego y en menor medida para abastecimiento urbano. La circulación del agua subterránea en la zona (Figura 2) se produce

de Oeste a Este, excepto en las zonas de los barrancos del Furel y Tocodomán donde el flujo se produce paralelo al cauce de estos barrancos y en las montañas donde se produce una divisoria de aguas y el flujo va hacia el aluvial.

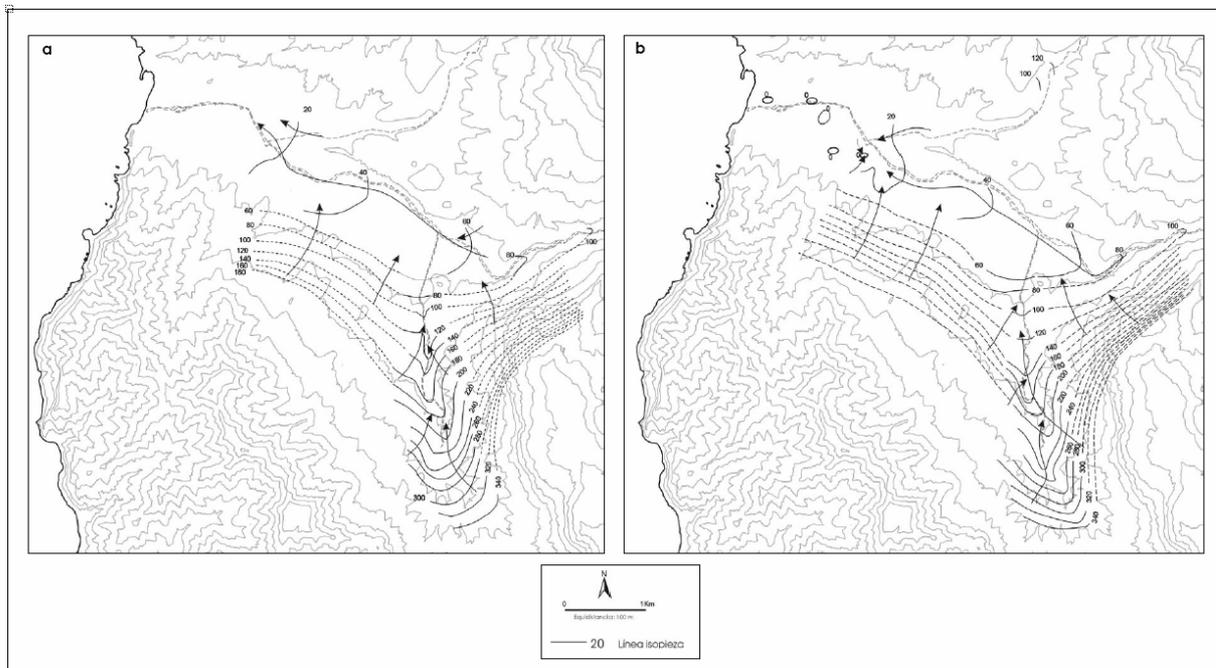


Figura 2: Piezometría de la zona de estudio (Muñoz, 2005).

Se cuenta con dos inventarios exhaustivos de puntos de agua en la zona, realizados en 1992 y 1999, en las que se midieron los niveles piezométricos en todos los pozos localizados en La Aldea, que han permitido la elaboración de piezometrías en estas fechas (Figura 2). Además, se cuenta con una red de control piezométrico formado por varios pozos, que ha estado operativa desde 1994 hasta la actualidad, por lo que se dispone de series temporales de niveles piezométricos. Se debe hacer notar que no hay piezometría en la zona de Furel porque no hay pozos ni datos de niveles en esa zona.

En la figura 2 también se puede observar un retroceso de las curvas de nivel en la zona de estudio de 1992 a 1999, esto implica un descenso en los niveles en 1999 con respecto a 1992.

Con respecto a los parámetros hidráulicos, hay que diferenciar las dos unidades hidrogeológicas y los datos de que se disponen son obtenidos de

ensayos de bombeo por Muñoz (2005). En la tabla 1 se puede observar la permeabilidad del aluvial y del basalto, donde se aprecia la diferencia de permeabilidades.

	TRANSMISIVIDAD ( $m^2 \cdot d^{-1}$ )	PERMEABILIDAD ( $m \cdot d^{-1}$ )	COEFICIENTE DE ALMACENAMIENTO
SEDIMENTOS ALUVIALES	1102 (512-1695)	55 (26-85)	0,065 (0,03-0,1)
BASALTOS MIOCENOS	5	0,03	0.075 (0.005-0.01)

Tabla 1.- Resumen de los valores de transmisividad (Muñoz, 2005)

Como se ha comentado con anterioridad, un mecanismo de descarga son las extracciones de agua de los pozos. Existen en la zona más de 370 pozos de gran diámetro (2.5 y 3 m), excavados a mano, con profundidades que oscilan entre los 4 y 212 m, con una profundidad media de 28 metros. Todos los pozos situados en la parte central del acuífero explotan agua de los conglomerados aluviales, aunque algunos atraviesan también los basaltos situados debajo, sacando agua conjuntamente de los dos materiales. Son muy frecuentes los sondeos radiales en el interior de los pozos y las paredes suelen tener revestimiento en los primeros metros de profundidad.

El calendario agrícola del tomate (cultivo mayoritario en la zona) influye en la distribución temporal de la explotación de los pozos, el comienzo de la temporada se produce en agosto con la plantación de los brotes ya crecidos en el semillero y en el mes de octubre comienza la recogida de la cosecha que dura hasta mayo, estos son los meses de mayor explotación del acuífero. Entre junio y agosto no hay plantación en los invernaderos por lo que la explotación se hace pequeña, casi nula. Según lo expuesto, se deduce que los bombeos de las captaciones son discontinuos, y depende de las necesidades del propietario y del riego en cada momento del año.

La construcción de tres presas a finales de la década de los 50 en la cuenca de Tejeda – La Aldea para el aprovechamiento de aguas superficiales brinda a los agricultores agua para riego con una mayor calidad, fundándose la

Comunidad de regantes de La Aldea para su gestión. También supuso una disminución de las aguas subterráneas explotadas. Después de los años de sequía de 1997 y 2000 se instalaron en la zona varias plantas desaladoras, tanto de agua subterránea como de agua de mar a través de pozos filtrantes en la costa (Cabrera et al., 2001).

En la tabla 2 se observa la evolución del volumen de explotación para distintos años donde se ve que la explotación ha aumentado en un 70% desde 1992 y 1999 lo que explicaría el descenso de los niveles en la piezometría.

Año	Volumen explotado Hm <sup>3</sup> .año <sup>-1</sup>
1992	2.84
1993	2.87
1994	2.95
1995	2.96
1996	2.83
1997	2.96
1998	3.39
1999	4.10

Tabla 2.- Volumen de agua explotado del acuífero mediante la extracción por pozos desde 1992 y 1999.

En la figura 3 se puede observar la distribución espacial de la explotación media anual de los pozos de La Aldea que están en funcionamiento. No se trata de la explotación máxima que se podría obtener de los pozos, sino la realizada por los propietarios según sus necesidades de agua para la agricultura y se aprecia claramente que la gran mayoría de los pozos están localizados en el aluvial del barranco principal de La Aldea y son los que mas agua explotan. Otras observaciones que se pueden realizar es que también se obtiene agua del barranco de Tocodomán y es casi nula la explotación en el barranco de Furel. Con respecto a la explotación en los Basaltos Miocenos, se observa que se realiza en la zona sur de la zona de estudio en el barranco de Tocodomán y que el caudal de explotación es bajo.

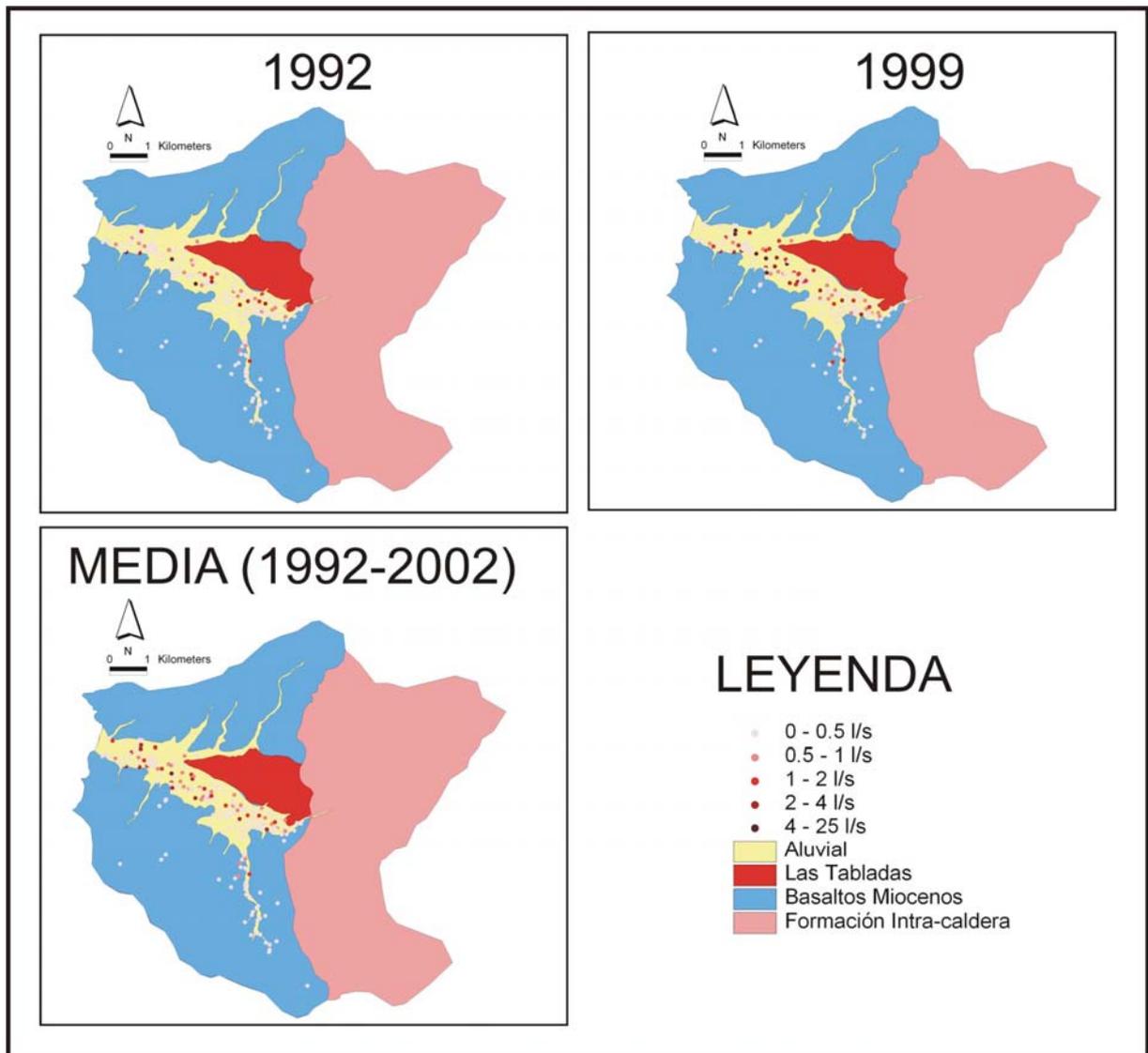


Figura 3: Distribución espacial del caudal de explotación anual en  $l.s^{-1}$ .

### 3. BALANCE HÍDRICO

Como se ha comentado anteriormente, las entradas de agua al acuífero se producen por infiltración directa de agua de lluvia, la entrada de agua por la cabecera del barranco, los retornos de riego, perdidas e la red de abastecimiento y la infiltración en la escorrentía y las salidas por la descarga al mar, evapotranspiración y las extracciones por bombeo para riego y en menor medida para abastecimiento urbano. La figura 4 representa una aproximación al balance hídrico de la zona.

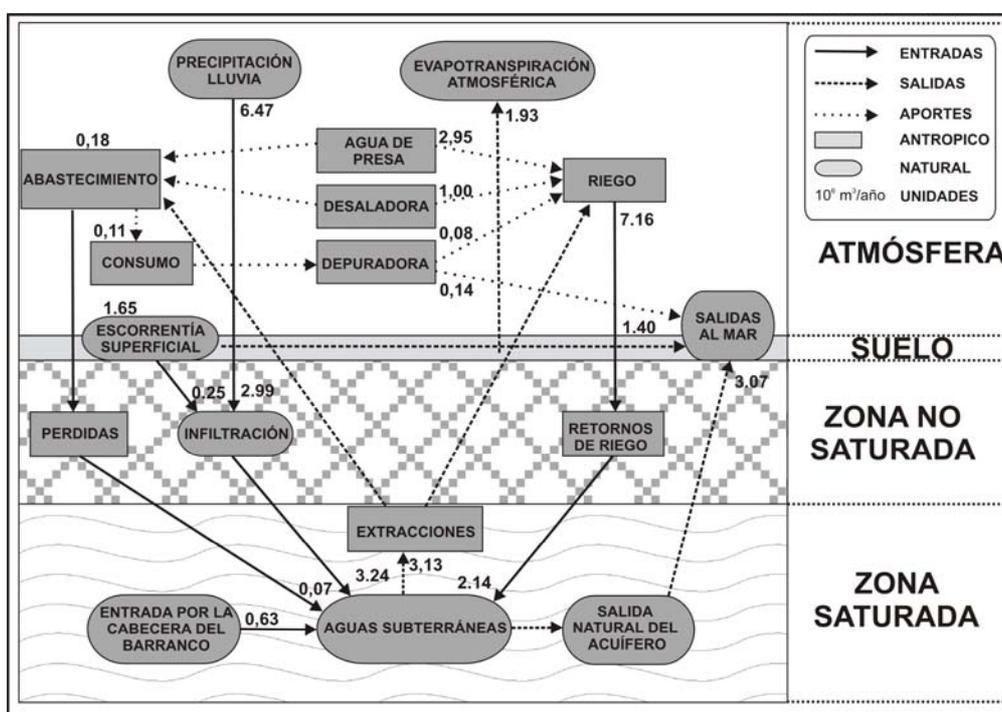


Figura 4: Representación esquemática del Balance Hídrico del Acuífero de La Aldea.

La recarga por lluvia y la evapotranspiración real han sido evaluadas mediante el EASY\_BAL (Universidad Politécnica de Cataluña) con un valor de laminación calculado a partir del número de curva obtenido en el SPA-15 (1975) por el Método del Número de Curva del U.S Soil Conservation Service para una escorrentía producida igual a 0. La entrada de agua por el borde de la caldera se produce por las dos unidades que componen el sistema, por la

cabecera del barranco hacia el aluvial y a través de los Basaltos Miocenos. Un testimonio de la recarga desde la cumbre a través del borde de la Caldera pueden ser los nacientes que existen en este borde, aunque esto está por demostrar. Para el cálculo del valor de los retornos de riego se ha estimado un 30% de los volúmenes de agua utilizados en la zona (F. Suárez com. per., 2004). La pérdida en la Red de abastecimiento y saneamiento asciende a un 40% de la dotación, según datos del Ayuntamiento.

La caracterización y determinación de las extracciones en los pozos existentes en la zona se ha llevado a cabo mediante los datos de los inventarios de puntos de agua realizados en 1992, 1997 y 1999, completados con los datos de las redes de control mantenidas desde 1995 a la actualidad.

Las salidas al mar han sido evaluadas por la ecuación de Darcy. Se ha trabajado con la hipótesis de que la mayoría de la salida se produce por el aluvial, donde se ha estimado una descarga anual media de 3.07 hm<sup>3</sup>-a-1 frente a un 0.02 hm<sup>3</sup>-a-1 (Muñoz, 2005) por los Basaltos Miocenos que lo hacen despreciable frente a las pérdidas por el aluvial.

#### 4. MODELO NUMÉRICO

Los modelos numéricos son simplificaciones de la naturaleza que se realizan para representar los procesos fundamentales y donde se incluyen un número limitado de datos y por tanto reproducen unas observaciones con las limitaciones que se imponen de partida. Sin embargo, el modelo debe ser coherente y respetar los procesos y fenómenos que debe reproducir. En este caso, el modelo se ha llevado a cabo mediante el código MODFLOW (McDonald, M.G. y Harbaugh, A.W., 1988), utilizando el Programa Visual MODFLOW. Se trata de un código desarrollado por el United States Geological Survey que aborda la modelación mediante diferencias finitas.

El dominio del modelo elaborado en el Acuífero de La Aldea se ha seleccionado de forma que coincida con límites hidráulicos naturales conocidos para facilitar las condiciones de contorno. Así, los límites establecidos son los que se expusieron más: al norte y el sur coinciden con los puntos de máxima altura de las montañas, el límite este se localiza en el borde de la intra-caldera,

ya que se considera que el material intra-caldera es impermeable como se muestra en la figura 1. Y por último el límite oeste coincide con el nivel del mar.

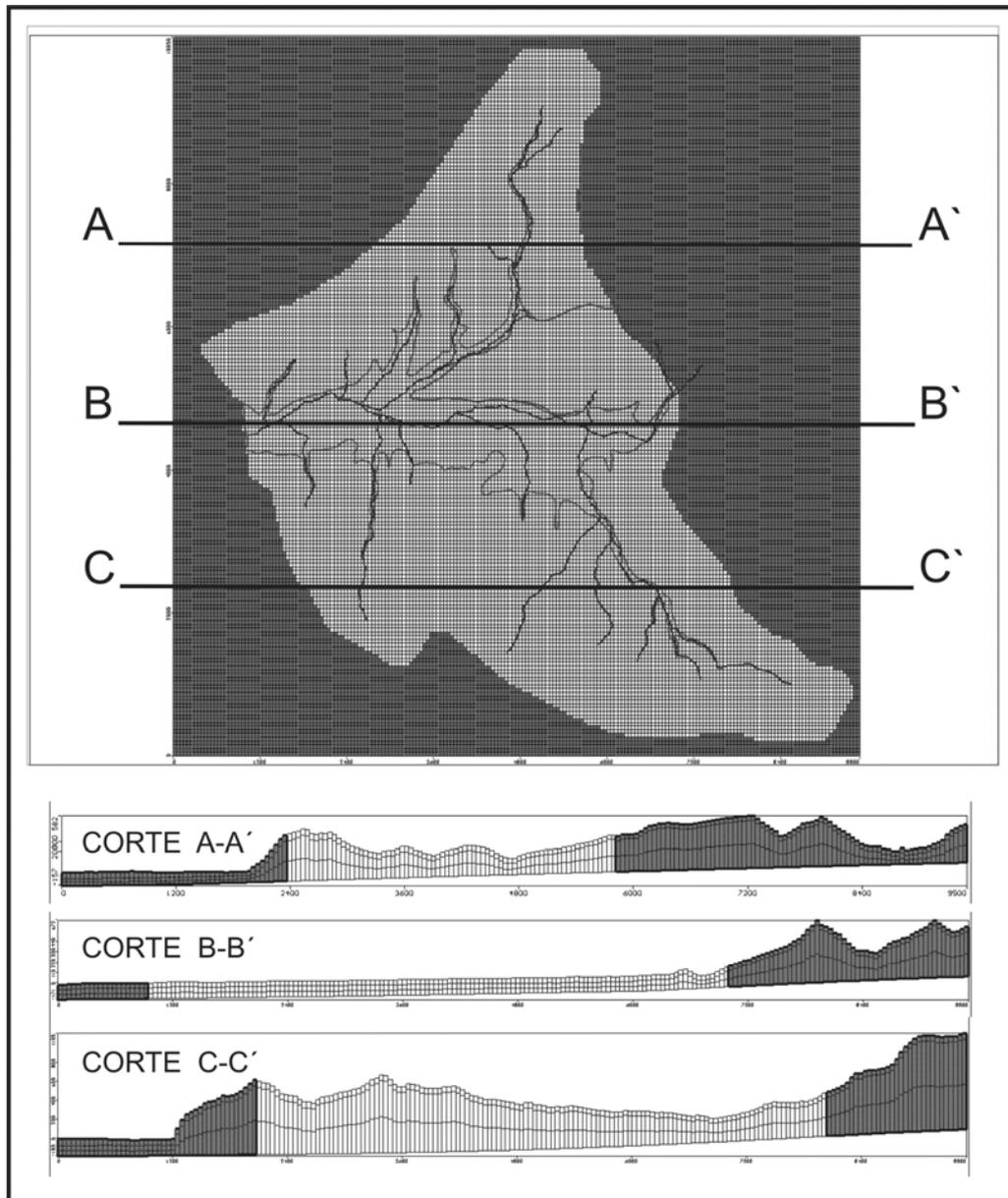


Figura 5: Discretización vertical y horizontal de la zona de estudio.

Para la implementación del modelo conceptual anteriormente descrito en el Visual Modflow, primeramente se ha realizado la discretización de la zona de

estudio mediante una malla, donde se ha procurado que esté orientada en el sentido principal del flujo de las aguas subterráneas, para ello se ha tenido que girar 25° al sur (figura 5). La discretización superficial se ha realizado teniendo en cuenta la orografía de la zona con sus grandes pendientes en los bordes y la localización de los pozos en la zona del aluvial principalmente, optándose por una discretización homogénea de 50 x 50 m (Figura 5), sin refinamiento.

La discretización vertical se ha realizado mediante datos de sísmica de refracción, columnas geológicas de pozos y descensos máximos de nivel en los pozos y teniendo en cuenta la orografía de la zona, el resultado se puede observar en los cortes de la figura 5. La zona de estudio se ha dividido verticalmente en tres capas: la capa 1 la conforman el aluvial, la zona de Las Tabladas y los Basaltos muy alterados; la capa 2 y 3 es la de los basaltos alterados que se ha dividido en dos por motivos puramente matemáticos de estabilidad del modelo, el límite inferior de esta capa lo da el contacto entre los basaltos alterados y los basaltos sin alterar localizado a 163 metros de profundidad.

La conductividad hidráulica y el coeficiente de almacenamiento se han zonificado basándose en razonamientos geológicos descritos en el modelo introduciendo la zona aluvial, la zona y capas de basaltos y las zonas de derrubios de ladera en la capa superficial.

Se ha observado que cuando hay en la zona periodos de lluvia muy prolongados, el barranco corre y vierte agua al mar, aún después de la construcción de las presas aguas arriba. Para representar este proceso se ha puesto una condición de dren para la red hidrográfica.

Los datos piezométricos usados para el ajuste y calibración del modelo se han obtenido de la base de datos, seleccionando aquellos pozos que cuentan con un nivel estático en 1992 (para la elaboración del modelo en régimen estacionario). Hay que destacar que el nivel piezométrico tomado en un pozo, representa un sumatorio de las situaciones de los pozos vecinos ya que los radio de influencia en la zona han sido estimados para el aluvial de mas de 180 metros para un día de bombeo y de 55 metros para los basaltos (Muñoz, 2005) y las captaciones en la zona están muy próximas entre sí, por lo que los niveles estáticos medidos, podrían estar influenciados por el bombeo de pozos vecinos.

Los datos disponibles en la base se datos, se han obtenido a partir de una serie de campañas de campo realizadas desde 1975 hasta la actualidad. Del

proyecto SPA-15, en 1975, se dispone de datos de 11 pozos en el valle de La Aldea, estos datos incluyen información hidrogeológica, sobre el estado de las captaciones y algunos muestran análisis químicos de muestras de aguas tomadas en los pozos. Durante el proyecto MAC-21, en 1980 se realizó un inventario de 42 pozos, los datos recogidos son bastante completos, incluyen información de interés hidrogeológica y algunos análisis químicos. En el Plan Hidrológico de Gran Canaria se realizó una campaña de inventario de pozos en 1992 donde se registraron 363 puntos de agua en el barranco de La Aldea. En 1999, para el proyecto FEDER 1FD97-0525 “Estudio hidrogeológico del acuífero de La Aldea (Gran Canaria)” se realizó una campaña donde se visitaron 375 puntos de agua. Entre medio de estas dos últimas grandes campañas de campo, se realizaron pequeñas campañas para los proyectos “Development of analytical and sampling methods for priority pesticides and relevant transformation products in aquifers” (Muñoz et al, 1996), donde se estableció la primera red de control en La Aldea para tomar datos de distintos pozos de forma continua en el tiempo para estudiar su evolución y “Estudio hidrogeológico de los procesos de salinización en el acuífero de San Nicolás de Tolentino” (Delgado Mangas, 1999), ambos mencionados en los antecedentes.

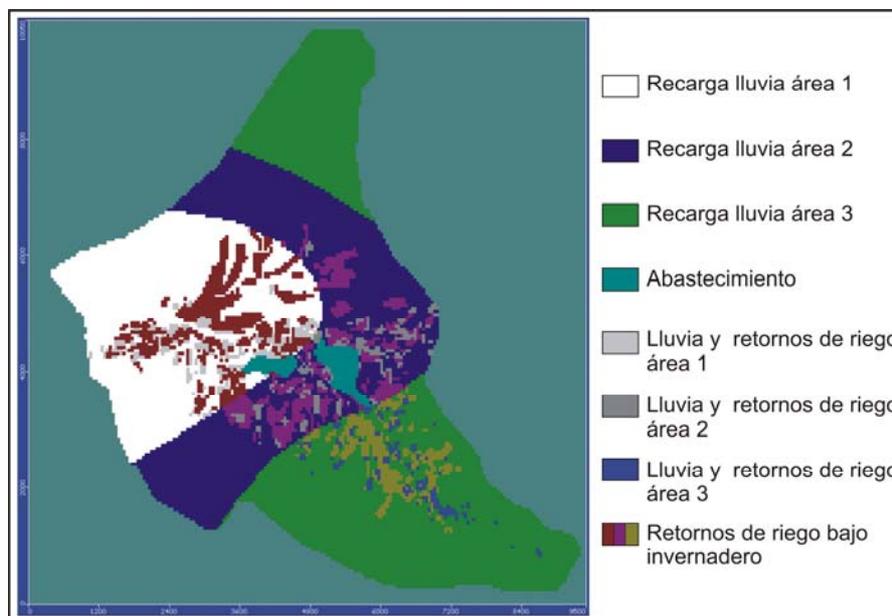


Figura 6: Distribución espacial de las distintas zonas de recarga por lluvia retornos de riego y pérdidas de la red de abastecimiento.

La recarga originada por la infiltración directa del agua de lluvia, retornos de riego y de la red de abastecimiento se tratan conjuntamente en el modelo y solo es aplicada en las celdas superiores de la malla como se puede observar en la figura 6.

La descarga por extracción de aguas subterráneas se produce a partir de pozos de bombeo localizados en la zona. Los caudales de extracción han sido obtenidos de la base de datos y completados de forma coherente a partir del conocimiento de los pozos para los periodos de tiempo donde no hay datos.

El sistema se ha simulado en régimen estacionario definiendo un tiempo de 365 días (1 año) con el fin de poder introducir los datos medios anuales que se dispone, en este caso del año 1992. Las razones por las que se ha definido una discretización temporal como régimen estacionario han sido que no se dispone de una piezometría inicial real y que no se conocen con precisión las características hidrogeológicas del terreno.

## 5. RESULTADOS

Una vez introducidos todos los datos en el modelo, su ejecución proporciona una piezometría tentativa para los valores de permeabilidad introducidos (Figura 7) y una línea regresión para el cálculo de errores entre valores de nivel piezométrico calculados y observados en los pozos que se debe ajustar al mínimo error (Figura 8). El proceso de calibración se basó en la comparación de los niveles observados y calculados, realizando ajustes sobretodo en los parámetros hidráulicos.

Los datos de permeabilidad obtenidos del modelo se pueden observar en la tabla 3, los valores son menores que los obtenidos por Muñoz en su tesis doctoral a partir de ensayos de bombeo, pero del mismo orden de magnitud. También hay que destacar la importancia de los derrubios de ladera que se observan sobre los Basaltos Miocenos para la obtención de una piezometría adecuada de la zona.

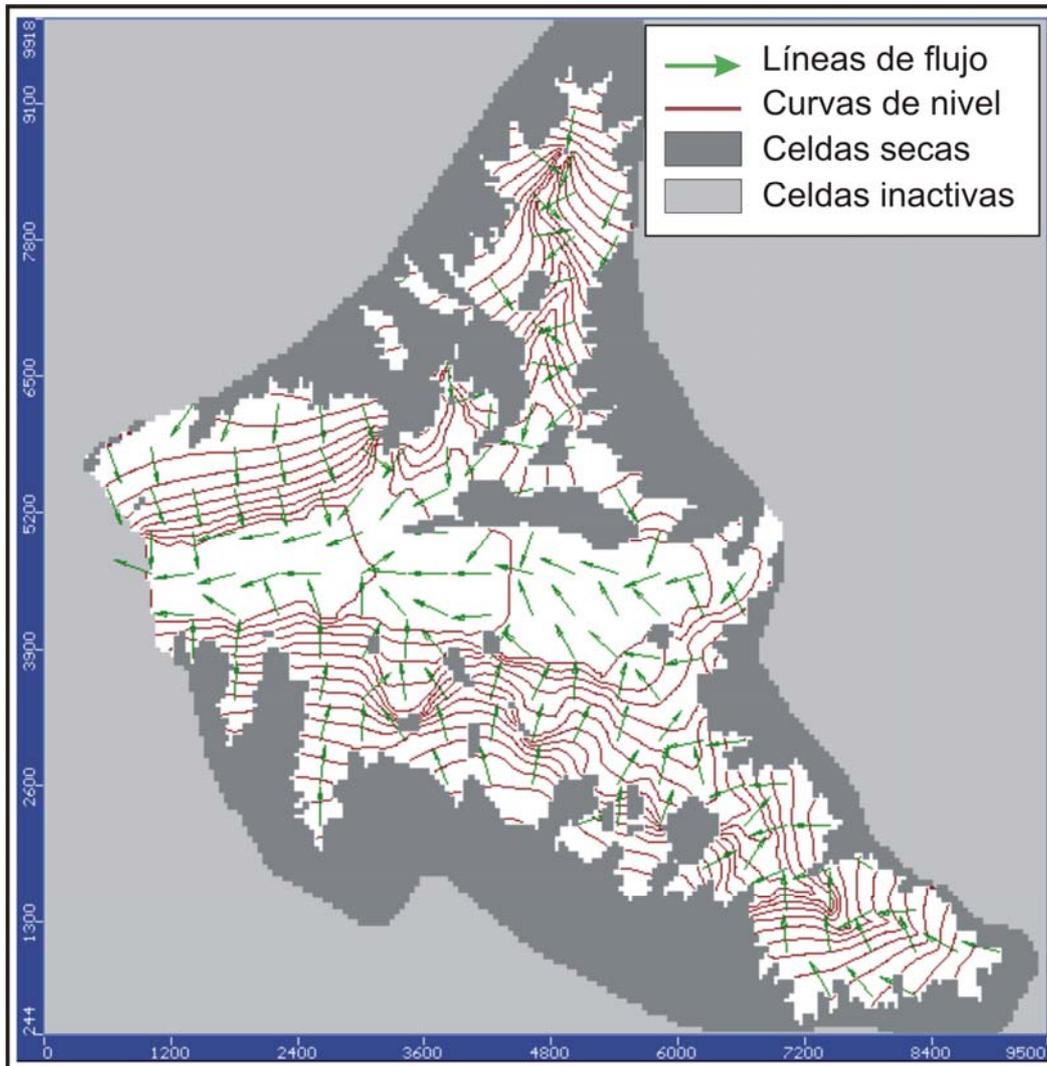


Figura 7: Piezometría resultante de la modelación.

	TRANSMISIVIDAD ( $m^2 \cdot d^{-1}$ )	PERMEABILIDAD ( $m \cdot d^{-1}$ )
SEDIMENTOS ALUVIALES	1000	40
BASALTOS MIOCENOS	1	0,005

Tabla 3.- Parámetros hidráulicos obtenidos a partir del modelo.

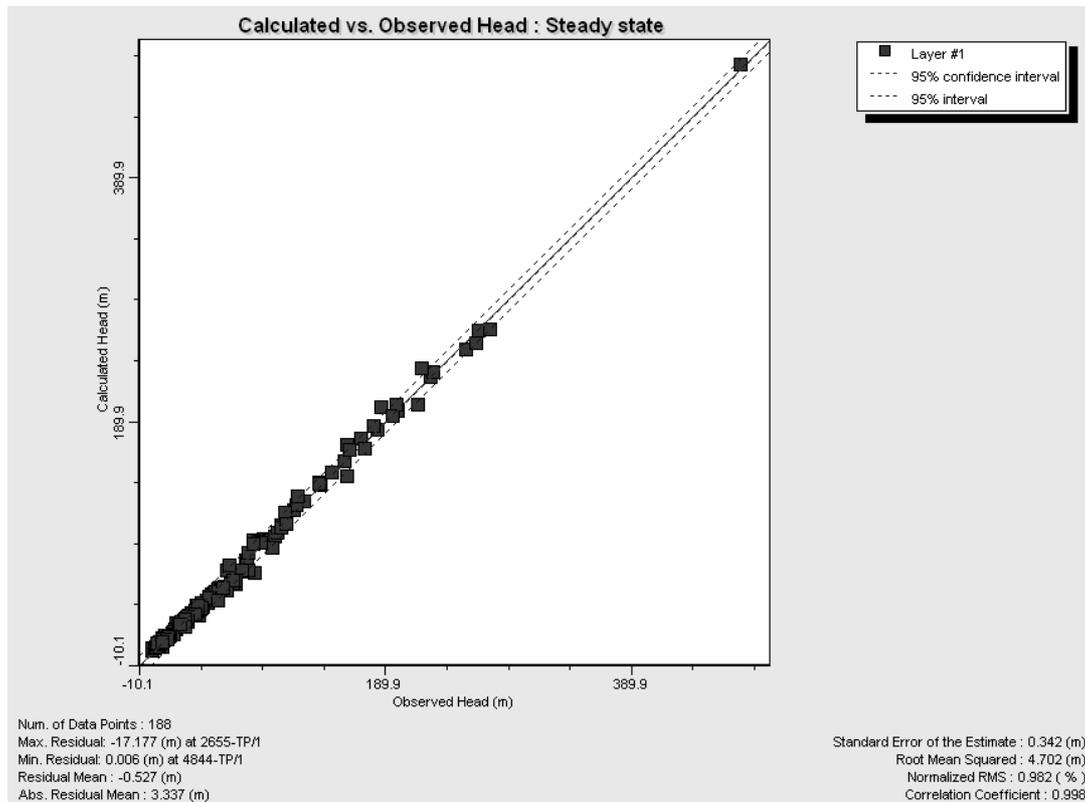


Figura 8: Valores de niveles piezométricos observados en el campo y calculados mediante modelación.

Estos resultados aún deben ser corregidos y discutidos en profundidad, pero aportan bastante coherencia a lo que se conoce de la hidrogeología de la zona hasta el momento en referente al movimiento del flujo.

## 6. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha realizado la modelación en régimen estacionario del flujo de las aguas subterráneas del acuífero de La Aldea, para ello se ha tenido que estudiar el modelo conceptual del acuífero que contempla un sistema acuífero con dos unidades hidrogeológicas muy claras: un aluvial de 6 km<sup>2</sup> de superficie y una profundidad media de 20 m situado en fondo del Valle

que recubre a Basaltos Miocenos. En este esquema la circulación del agua subterránea se produce de este a oeste principalmente. Los datos de que se dispone permiten elaborar un modelo en régimen estacionario en tres dimensiones en el que los límites de capas están definidos en base a las diferentes permeabilidades de los materiales. El modelo responde a estos datos de forma coherente.

## 7. AGRADECIMIENTOS

El presente estudio ha sido financiado con un proyecto CICYT con fondos FEDER 1FD97-0525. Dentro de este proyecto, ha recibido financiación de la Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias, el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, el Excmo. Ayuntamiento de San Nicolás de Tolentino, las cooperativas de COPAISAN, COAGRISAN y ROMERTOR. Así mismo Tatiana Cruz Fuentes disfruta de una beca de investigación del Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria para la realización de su tesis doctoral.

## BIBLIOGRAFÍA

- Custodio E y Cabrera MC (2002). ¿Cómo convivir con la escasez de agua? El caso de las Islas Canarias. Bol. Geol. Min., 113 (3): 243-258
- Ferrer M, Rodríguez J y Estrela T (1995). Generación Automática del Número de Curva con Sistemas de Información Geográfica. Ing. Del Agua, 2 (4): 43-58
- GRAFCAN (1996). Cartografía digital oficial de Gran Canaria. Escala 1:5000. Empresa Cartográfica de Gran Canaria, S.A., Gobierno de Canarias Las Palmas de Gran Canaria, España.
- ITGE (1990). Proyecto MAGNA. Memorias y mapas geológicos de España. E: 1:25.000. Isla de Gran Canaria: hojas nº 1108-I-II-III y 1113-I (3 mapas)
- Muñoz J (2005). Funcionamiento hidrogeológico del acuífero de La Aldea (Gran Canaria). Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 310pp.

SPA-15 (1975). Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515). Minist. Obras Públ, Dir. Gral. Obr. Hidr. UNESCO. Las Palmas de Gran Canaria, Madrid. 3 vol.

WATERLOO HYDROGEOLOGIC (2003). Visual MODFLOW User's Manual. Waterloo Hydrogeologic, Inc. Canada. 434 pp.

## **PROBLEMAS CONSTRUCTIVOS DE TÚNELES HIDRÁULICOS EN TERRENOS EXPANSIVOS CANARIOS.**

Carlos Oteo Mazo

Dpto. de Tecnología de la Construcción, Universidade da Coruña. E-mail: carlosoteo@telefonica.net

### **INTRODUCCIÓN**

En el interior de coladas basálticas pueden encontrarse, alternadas con las masas rocosas, capas arcillosas, sedimentos generalmente preconsolidados por la masa de la colada, en la que se encuentran diversos silicatos, entre ellos minerales esmectíticos como la montmorillonita, minerales potencialmente expansivos, dada su estructura y fábrica.

En el caso de las zonas basálticas de Ciudad Real (próximas a Puertollano), bastante arrasadas por la erosión y a veces recubiertas por espesores de materiales miocenos de hasta 20 m de espesor, aparecen arcillas versicolores de esta naturaleza. Pero en esas zonas se instaló, en el pasado, un nivel freático permanente que mantiene saturadas dichas arcillas, por lo que, salvo que se hicieran excavaciones para llegar hasta ellas, no presentan problemas de expansividad, al no haber posibilidad de cambio de humedad.

Sin embargo en las formaciones volcánicas canarias se presentan, entre capas fonolíticas, espesores de arcilla de 1 a 3 m, con humedad relativamente baja respecto a la de saturación (contenidos de agua del 25-50%). En estos casos la posibilidad de variación de la humedad al construir un túnel que afecte a estos materiales, junto con la decompresión que origina la excavación, puede dar lugar a fuertes movimientos de la arcilla en el contorno excavado debidos a fenómenos expansivos y de decompresión.

En estas páginas se trata el caso concreto de los túneles de Trasvasur, construidos en la Isla de Gran Canaria.

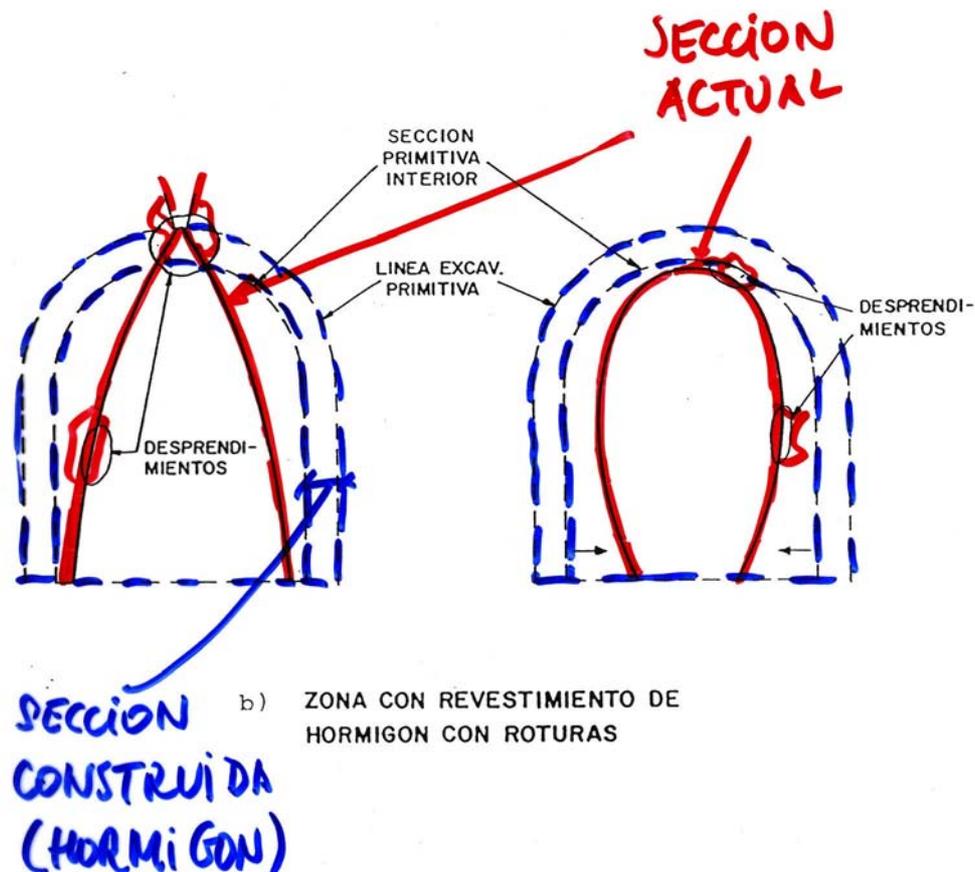


Figura 1: Túnel 4

## 1. LA OBRA

El Canal de Trasvasur forma parte de un plan hidráulico cuyo propósito final era unir varios depósitos de agua en el sur de la Isla de Gran Canaria con la zona de Tirajana, a efectos de proporcionar riegos a esta zona, más fértil que la del sur.

El proyecto data de finales de los años 60 del siglo XX y las obras se iniciaron en los primeros años 70. Incluían la construcción de varios túneles, entre los que destacan por su longitud los llamados Túneles 4 y 5 de unos 3.000 m de longitud cada uno.

Desde el principio de la perforación, se presentaron serios problemas en ambos túneles, debido a la presencia de una capa de arcilla potencialmente

expansiva en el interior de la roca volcánica (fonolita) en la que se hacía la perforación. Esta capa, con un espesor de 1,5 a 3 m, aparecía pseudo-horizontalmente, afectando en unos puntos a la bóveda del túnel y en otros a sus hastiales (Figs. 1 y 2).

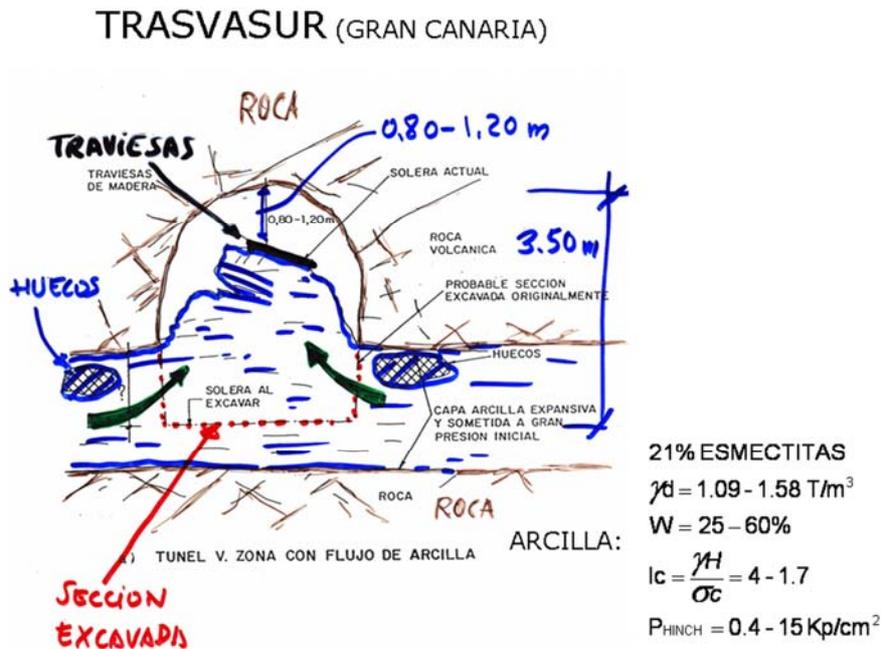


Figura 2: Túnel 5

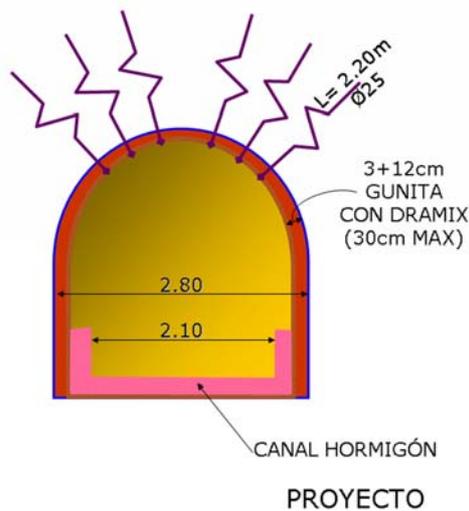


Figura 3: Proyecto de los años 90

Los túneles tenían inicialmente, una sección en herradura con una altura de 3,50 m y una anchura de 2,70 m (Fig. 3), a fin de que pudiera entrar un vehículo en el túnel y se asegurase, así, el mantenimiento del Canal.

En los años 70 ya se apreciaron síntomas de expansividad y extrusión de la capa de arcilla cuando se excava ésta, dependiendo los daños de la posición relativa de la capa y del túnel, situación que fue empeorando a lo largo de unos 20 años mientras se intentaba construir parcialmente el Túnel (por ejemplo, variando la cota del túnel y reduciéndolo para evitar la capa arcillosa, etc). Así se construyó, aproximadamente, la mitad de los túneles que quedan abandonados por esas dos décadas. En este periodo estos túneles se llegaron a utilizar como depósito de agua.

A principios de los años 90 se volvió sobre el tema y se re proyectó el túnel, tras realizar diversos sondeos desde el propio túnel (cuyo recubrimiento era de más de 400 m de fonolitas y escorias e ignimbritas). Con esta información pudo realizarse (INTECSA) el corte geotécnico que aparece en la Fig. 4. Adjudicada la obra a DRAGADOS, el autor de estas líneas inició su intervención ya iniciadas las obras.

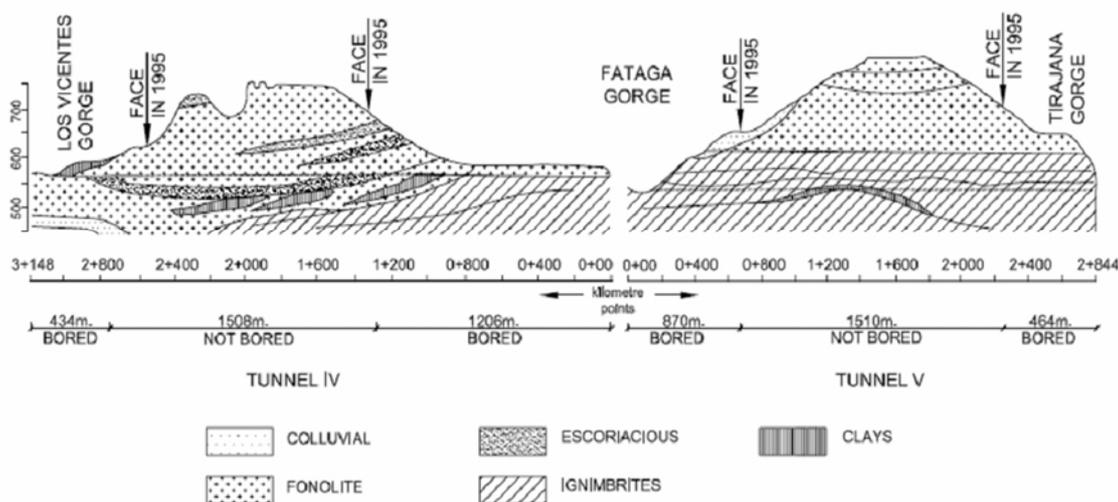


Figura 4: Corte estratigráfico de la zona

## 2. EL TERRENO

La base de la formación, en que se inició la excavación del Túnel 4, consistía en ignimbritas y traquitas (Fig. 4), con intrusiones pseudohorizontales de arcillas algo vitrificadas, la parte superior está formada por fonolitas algo alteradas y fonolitas sanas.

En el Túnel nº 5 aparecen materiales similares: ignimbritas en la parte baja y fonolitas en la más alta.

En ambos túneles los materiales ignimbríticos y fonolíticos aparecen a lo largo de unos 1.500 m de túnel, que eran lo excavado al reiniciarse las obras de los años 70, que lo primero que hicieron fue terminar otros túneles sin estos problemas.

En cuanto a la capa de arcilla se detectó principalmente en la parte superior de la sección del Túnel en el nº 4 y en hastiales y solera en el nº 5 (Fig. 1 y 2), por lo que dieron lugar a cierres de sección (a pesar de colocarle un anillo de hormigón, pero sin solera) en el 4 y a una entrada de material en el nº 5 (expansión y extrusión, por liberación de tensiones).

Dada la dificultad de alcanzar la zona del túnel con sondeos desde el exterior, no se podía determinar si la capa de arcilla continuaba o no. Por ello, tras un cierto debate técnico, recomendamos considerar que se extendía a lo largo del 50% de la longitud del túnel que faltaba por excavar.

Las muestras “inalteradas” tomadas en perforaciones hechas (de 3 a 7 m de longitud) en las paredes del túnel excavado permiten determinar las siguientes propiedades de la arcilla:

- Contenido de finos: > 90%.
- Límite líquido: 54 a 208 (rango representativo: 80 a 130, o sea muy alta plasticidad).
- Densidad aparente seca: 1090 a 1580 Kg/m<sup>3</sup>.
- Humedad: 25-60%.
- Grado de saturación: 85-90% (recuérdese lo comentado sobre que el túnel se usó como depósito de agua). Este dato se refiere a la zona

accesible y, por lo tanto, no tiene por qué corresponder a la arcilla en la zona no excavada.

- Resistencia a compresión simple: 2700 a 6400 KPa, lo que le da al material una apariencia entre arcilla muy rígida y roca muy blanda.
- Presión de hinchamiento en diámetro: 180-1600 KPa en 1975. En 1986 nuevos ensayos dieron sólo 300 KPa (con muestras saturadas del interior del túnel, en la zona accesible, lo que indica que el material ya había expandido por saturación).
- Mineralogía: Proporción variable de esmectitas entre 21 y 100% (lo que explica su expansividad).

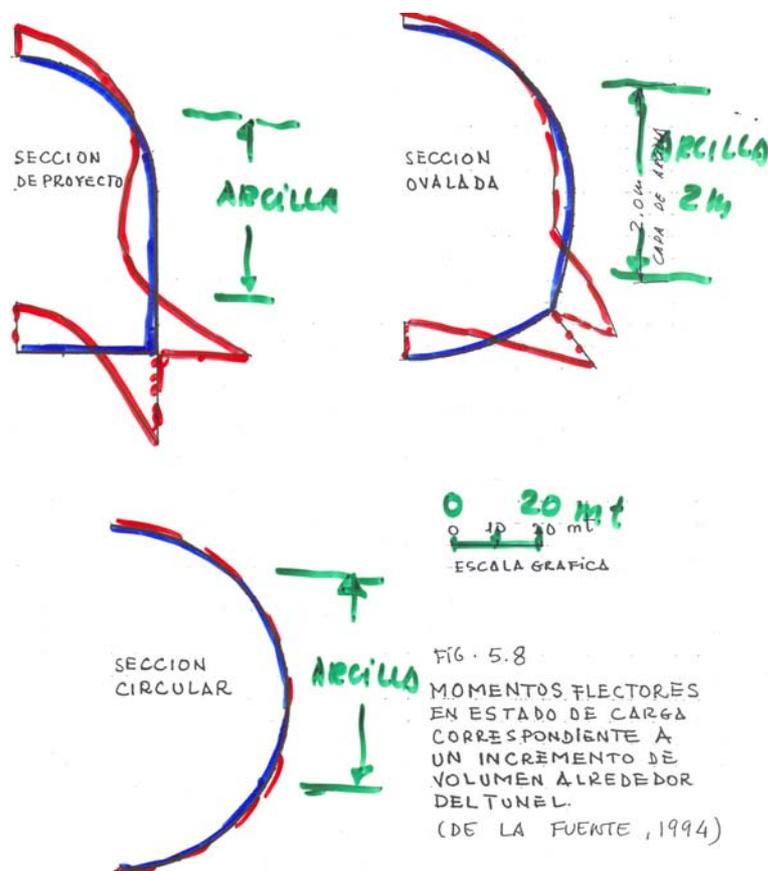


Figura 5

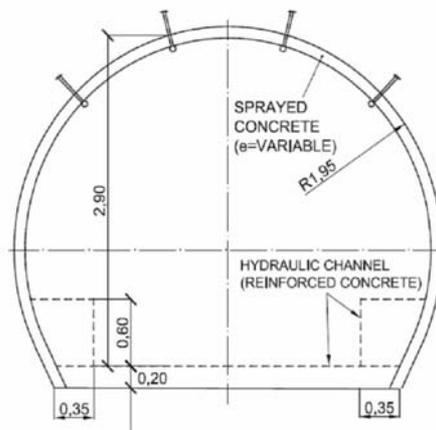


Figura 6

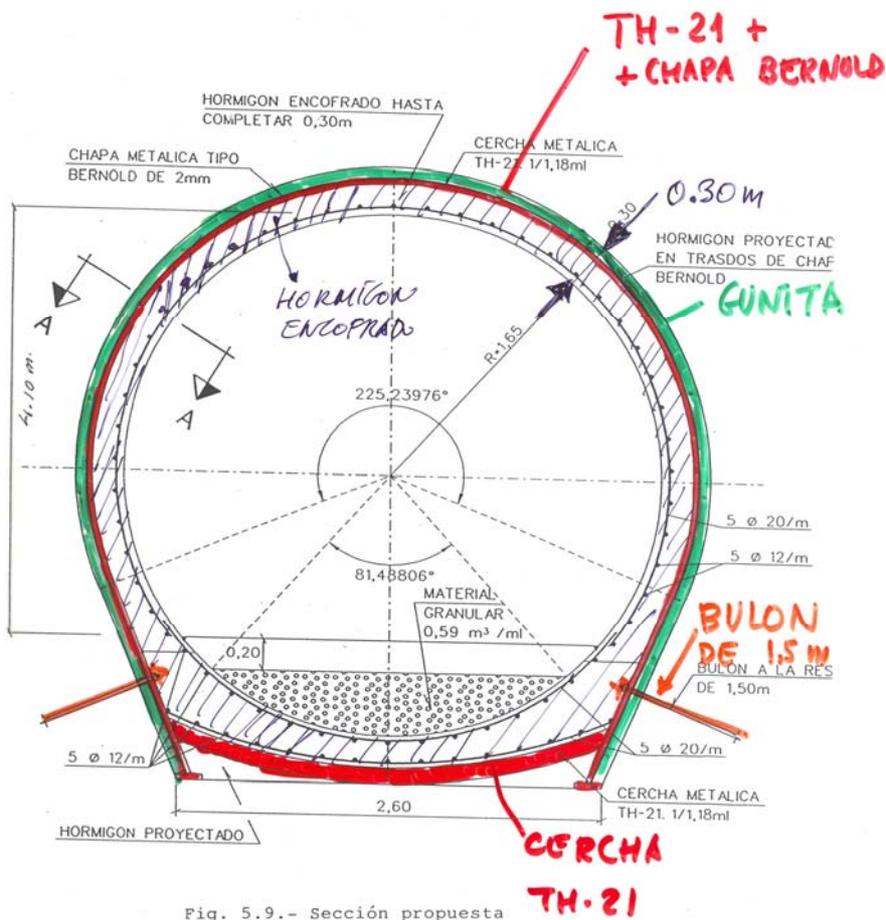


Fig. 5.9.- Sección propuesta

Figura 7: Seccion para max expansividad

### 3. LA SOLUCIÓN

En 1995, tras reconsiderar los datos del problema, sugerimos que se deberían utilizar secciones lo más circulares posibles para luchar contra la expansividad.

A tal efecto se realizaron una serie de estudios numéricos, con el Código de elementos finitos ANXYS, a efectos de mostrar las distintas respuestas que diversas formas de sección presentaban frente a la expansión de una capa de arcilla centrada con el túnel (Fig. 5). Evidentemente la sección circular es la mejor ya que, prácticamente, trabajaría a compresión, mientras que la de proyecto tendría flexiones importantes en hastiales y solera y en su unión.

Por ello se diseñaron varios tipos de secciones (adaptables unas a otras en lo que se refiere a excavación y sólo variando en el sostenimiento y revestimiento final), como las de las Figuras 6 y 7 y se llevó a cabo una galería lateral experiemntal (junto a las zonas más afectadas por el hinchamiento) para probar en ella dichas secciones. En la Fig. 8 puede verse esa galería. En ella la sección SC es la de la Fig. 7, la SC' sólo tiene gunita (Fig. 6) y las secciones IV y V tienen un sostenimiento intermedio entre las Figs. 6 y 7.

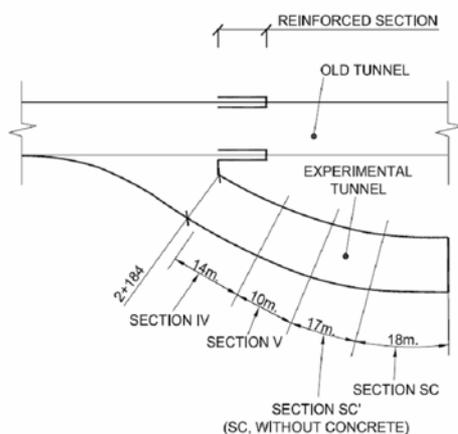


Figura 8: Galería experimental

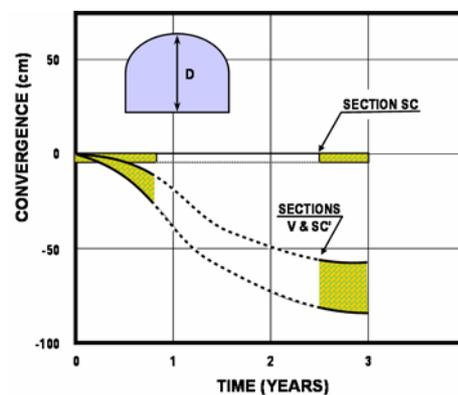


Figura 9: Convergencias en la galería experimental

En la Fig. 9 pueden verse las convergencias verticales medidas en esta galería experimental. En la sección con hormigón (Fig. 7) las convergencias son de varios milímetros (cerca del centímetro) y en las otras son de bastantes centímetros (10-80 cm). Con estos resultados se redactó un proyecto modificado suponiendo que la arcilla se presenta a lo largo del 50% de la longitud de los túneles que faltaban por excavar.

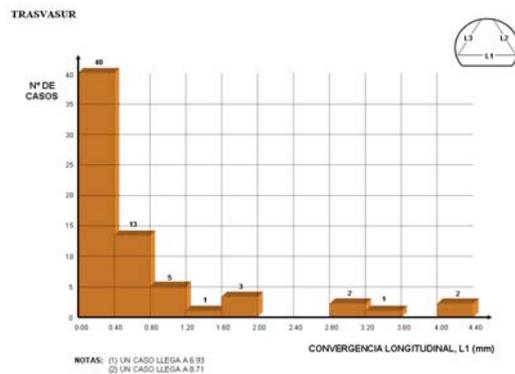


Figura 10: Convergencias controladas durante la obra

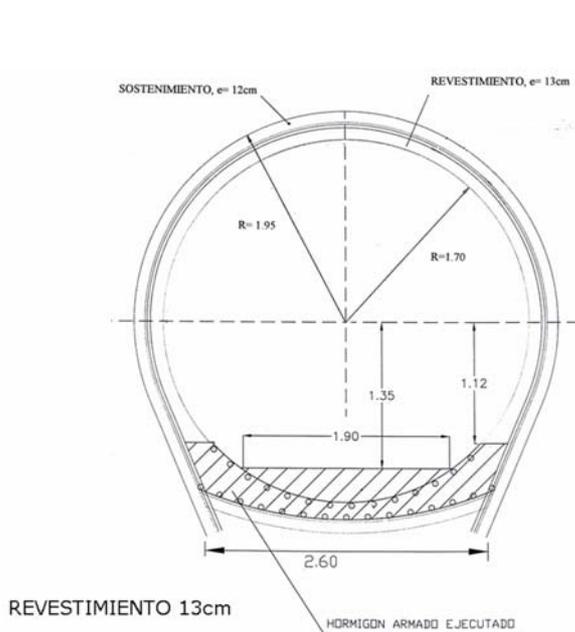


Figura 11: Revestimiento ligero

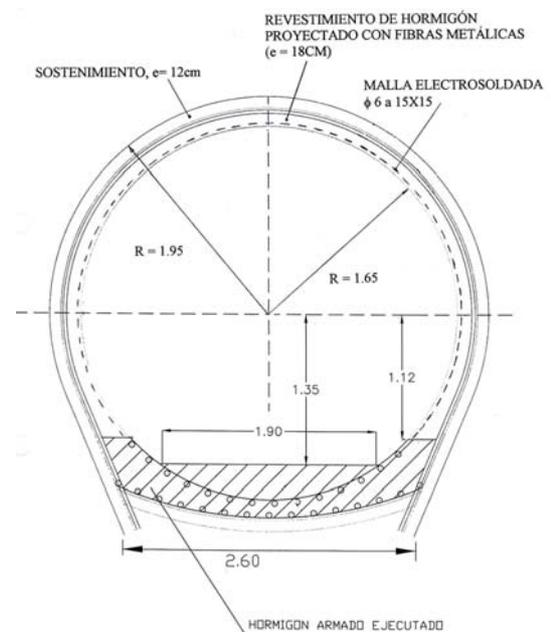


Figura 12: Revestimiento

Aprobado el Proyecto Modificado (con un incremento del 110% sobre el presupuesto inicial) por el Consejo de Estado, la obra se desarrolló sin incidencias especiales y se inauguró hace unos 3 años. En la Fig. 10 pueden verse las convergencias horizontales medidas durante la obra: desde menos de 0,40 mm en el 40% de los casos hasta unos 4,5 mm en algunos casos. Este control permitió reconsiderar el revestimiento definitivo y construirlo con hormigón proyectado y disminuir el costo total y el plazo de la obras; llegando a secciones entre las de las Figs. 11 y 12.

Una vez ejecutado el sostenimiento definitivo con hormigón proyectado, la obra fue inaugurada tras unos 30 años de su concepción inicial.

## **Comportamiento de suelos expansivos**

Joaquín Pérez Romero

E.T.S. de Ingenieros de CCP, Universidad Alfonso X. E.mail: [joaquin.perez@auna.com](mailto:joaquin.perez@auna.com)

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
**III Jornadas Canarias de Geología**  
16 de noviembre de 2006

### **Comportamiento de suelos expansivos**

**Joaquín Pérez Romero**

Dr Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, MSc, DIC  
Prof Universidad Alfonso X  
Prof Universidad de Granada

III Jornadas Canarias de Geología

1

---

## **CONTENIDOS**

### COMPORTAMIENTO DE SUELOS EXPANSIVOS

1. El agua en el terreno – el suelo parcialmente saturado
2. Capilaridad – mineralogía de las arcillas – succión
3. Compresibilidad y resistencia
4. Suelos expansivos: identificación y tratamiento

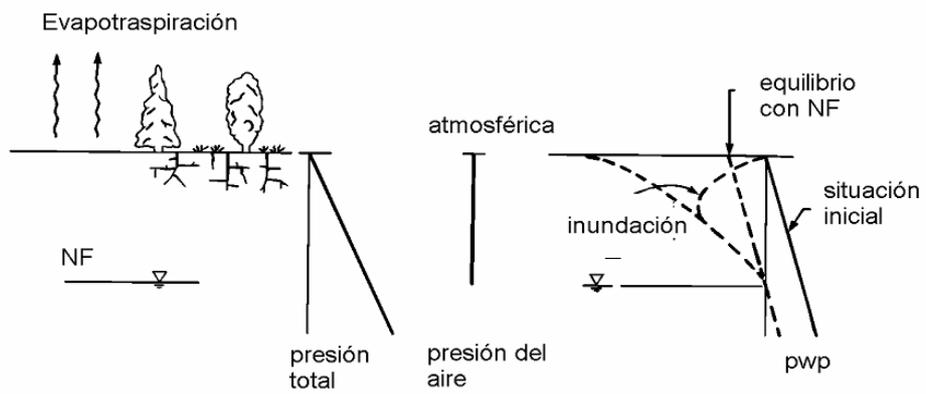
### EXCAVACIÓN DE TÚNELES EN MATERIALES EXPANSIVOS

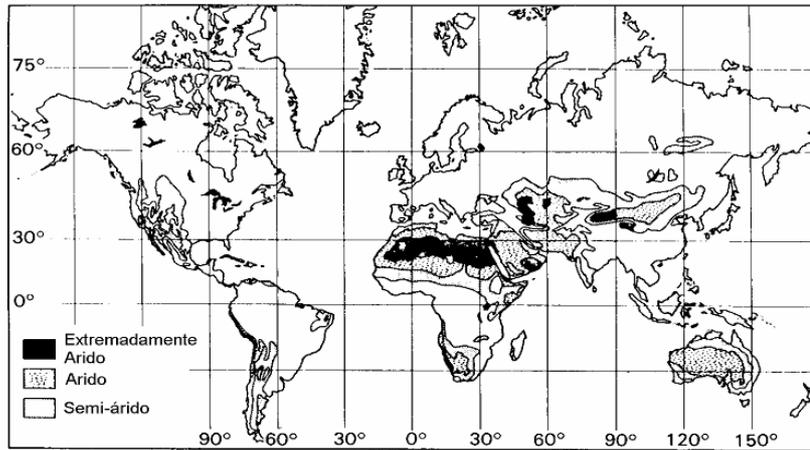
III Jornadas Canarias de Geología

2

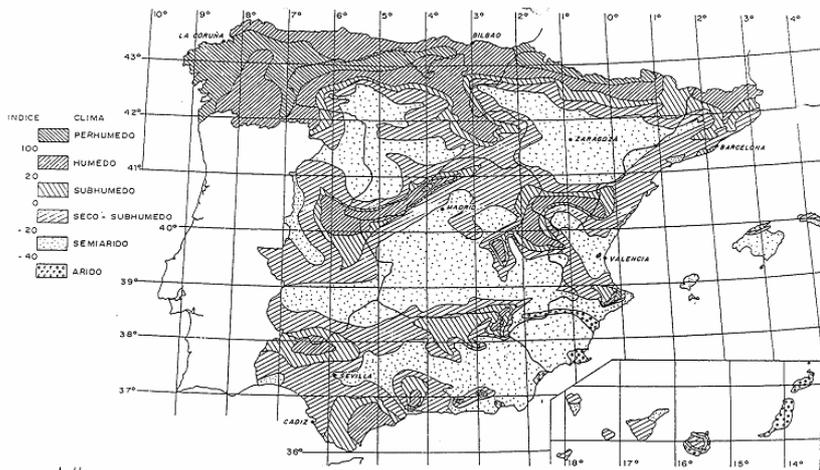
COMPORTAMIENTO DE SUELOS EXPANSIVOS

El agua en el terreno – el suelo parcialmente saturado



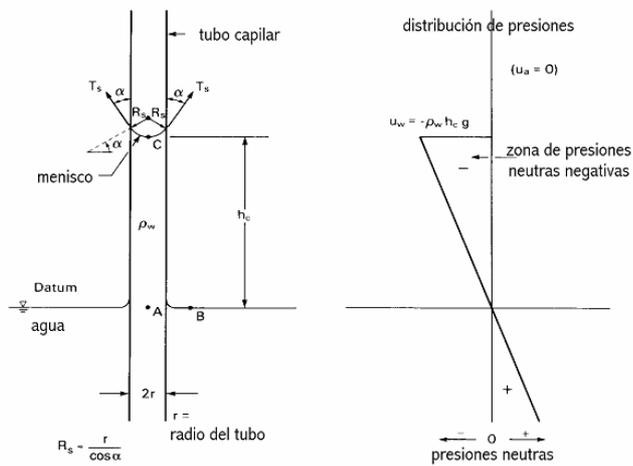
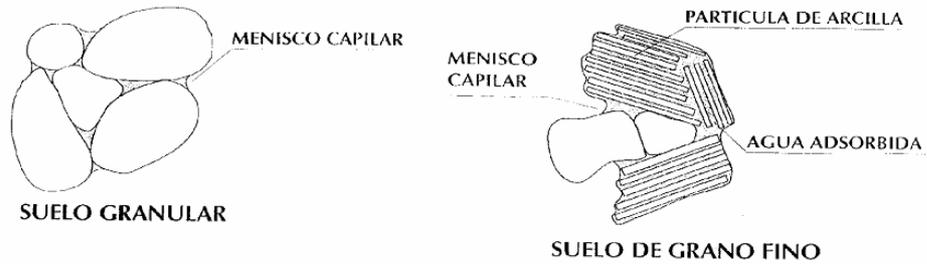


III Jornadas Canarias de Geología



III Jornadas Canarias de Geología

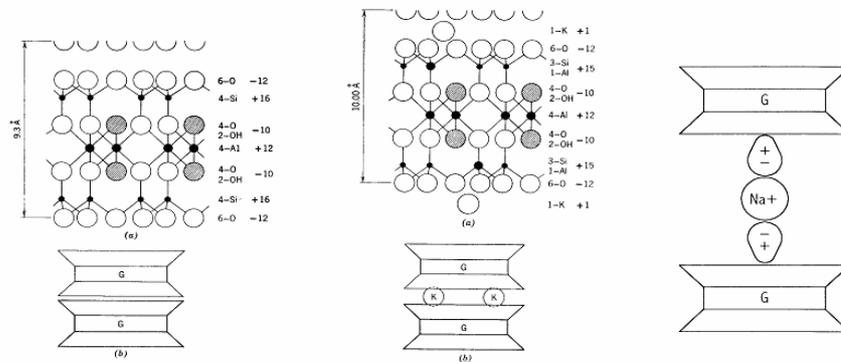
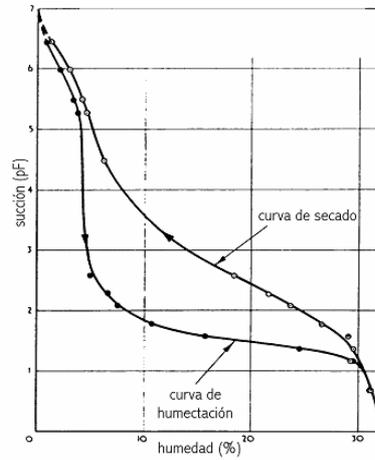
Capilaridad – mineralogía de las arcillas – succión



**Succión**

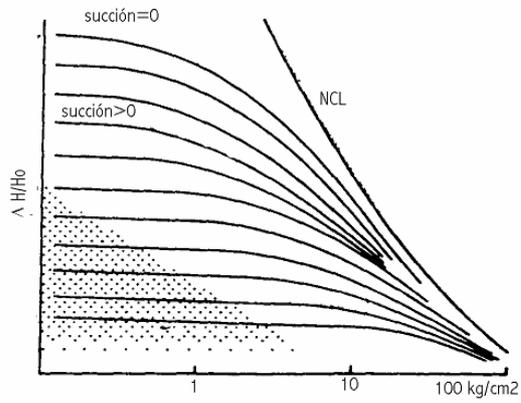
$$s = u_a - u_w$$

100 kPa = 0.1MPa ~ 1kg/cm<sup>2</sup> = 10 T/m<sup>2</sup> ≈ 1 atm



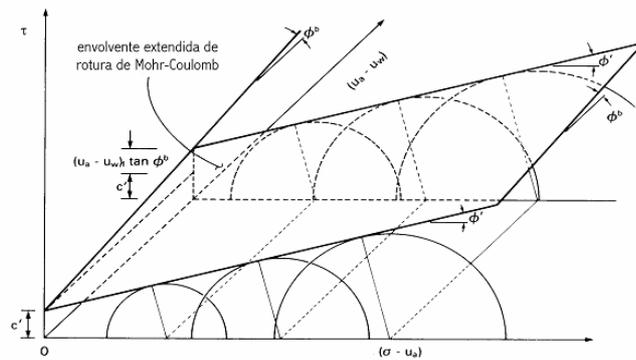
Superficie específica: Montmorillonita 800 m<sup>2</sup>/gr  
( ¿ 18.4 gr ? )

Compresibilidad del suelo parcialmente saturado

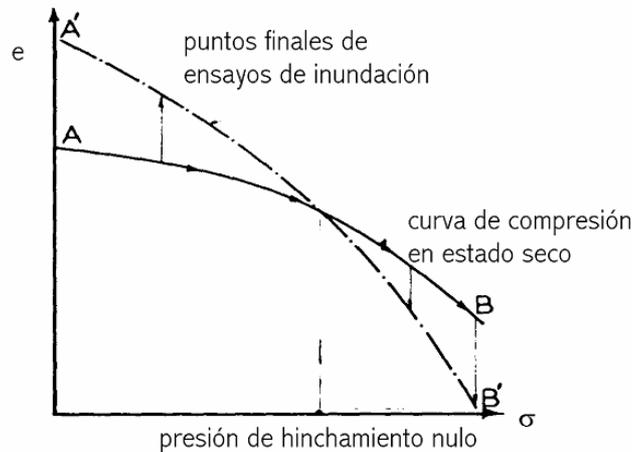


Resistencia del suelo parcialmente saturado

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_f - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b$$



## Expansividad – Colapsabilidad

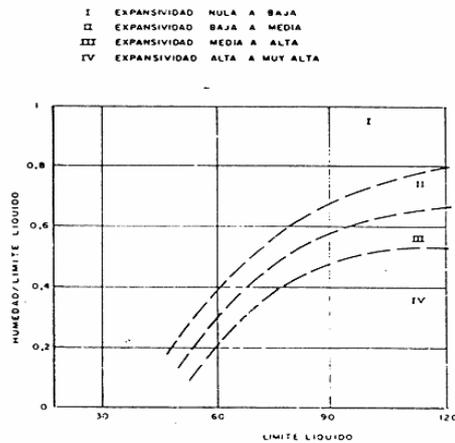


## Suelos expansivos: identificación y tratamiento

**El reconocimiento de campo de los materiales expansivos es bastante fácil, considerando como indicios los siguientes puntos (Oteo 1995):**

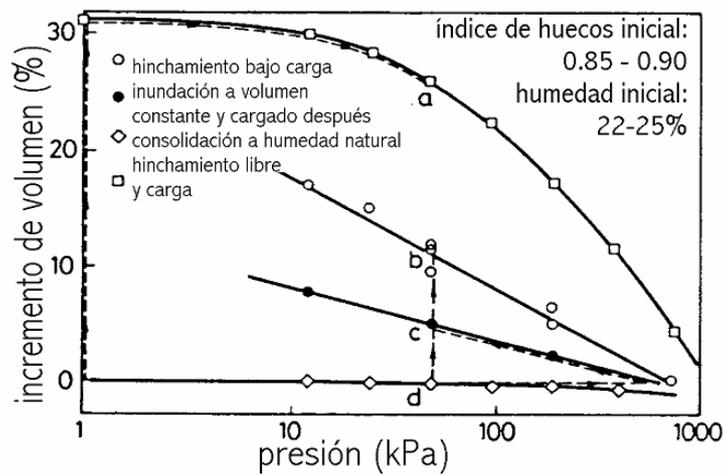
- Ausencia de vegetación espontánea de hoja caduca.
- Colores grises, verdosos o azulados.
- Grietas poligonales en superficie durante la estación seca.
- El suelo humedecido es muy moldeable (plástico) y mancha profusamente.
- Barro pegajoso que se adhiere al calzado y a la maquinaria.
- Los terrones y las marcas o huellas producidas en el material húmedo son muy persistentes.
- El suelo en estado seco es muy duro, siendo difícil de trocear con las manos.
- Los suelos masivos secos producen superficies cortantes y satinadas al romperse.
- Tras cortar el suelo húmedo y al secarse se producen superficies de rotura semejantes a las roturas inducidas en estado seco.
- Los bloques se cuarteán si se dejan secar al aire.
- Los desmontes se cuarteán superficialmente, dejando caer pequeños bloques, necesitando inclinaciones muy tendidas para su estabilidad (8 a 10° aproximadamente).
- Se produce el "bujeo" en los vertisuelos, un relieve muy característico.

<b>Expansividad</b>		<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>	<b>Muy Alta</b>
Límite de retracción		>15	12 - 16	8 - 12	<10
IP		<18	15 - 28	25 - 40	>35
W(LL)		<30	30 - 40	40 - 60	>60
%=200		<30	30 - 60	60 - 95	>95
% <0.001 mm		<15	13 - 23	20 - 30	>30
Actividad IP/#2μ	(Skempton)	<0.5	0.5 - 0.7	0.7 - 1.0	>1.0
Potencial hinchamiento	(Seed)	0 - 1.5	1.5 - 5.0	5 - 25	>25
Indice lambe	kg/cm <sup>2</sup>	<0.8	0.8 - 1.5	1.5 - 2.3	>2.3
Presión hinchamiento probable	kg/cm <sup>2</sup>	<0.3	0. - 1.2	1.2 - 3.0	>3
Hinchamiento libre (probable) en superficie	(Mc Dowell)	0 - 1	1 - 3	3 - 7	>7
% hinchamiento probable		<1	1 - 5	3 - 10	>10

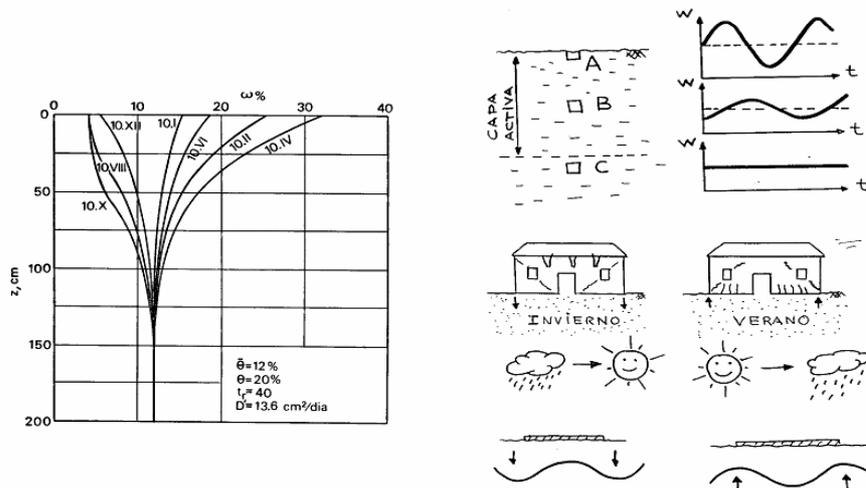
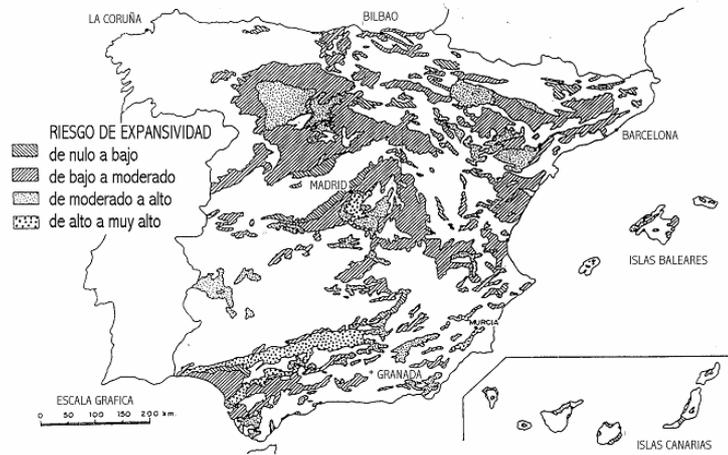


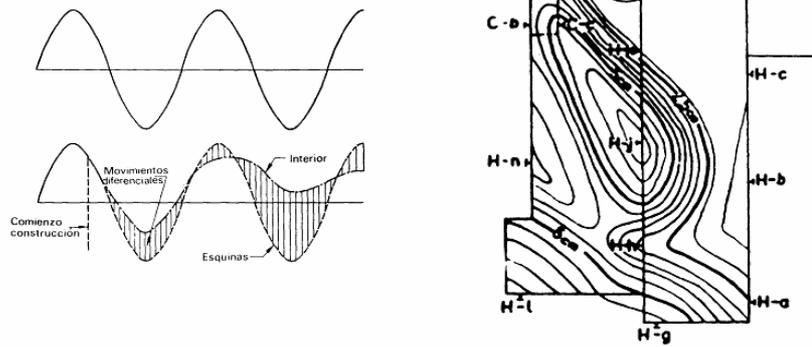
**Ensayos de laboratorio más habituales:**

- Ensayo de hinchamiento libre en edómetro
- Ensayo de presión de hinchamiento nulo en edómetro
- Ensayos de inundación bajo carga
- Ensayo de doble edómetro
- Ensayo Lambe

Métodos para la previsión del hinchamiento  
(Brackley 1975)

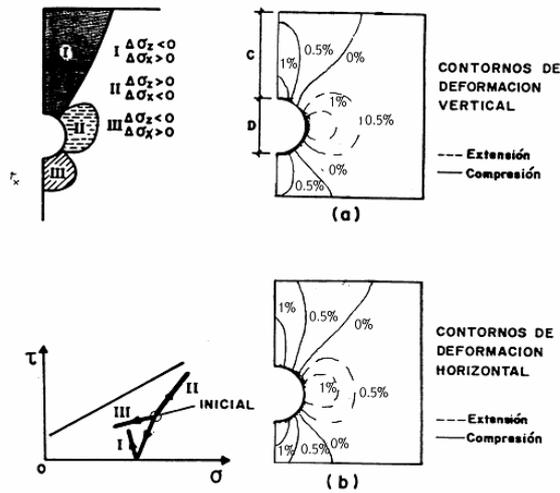
Mapa de riesgo de expansividad en España



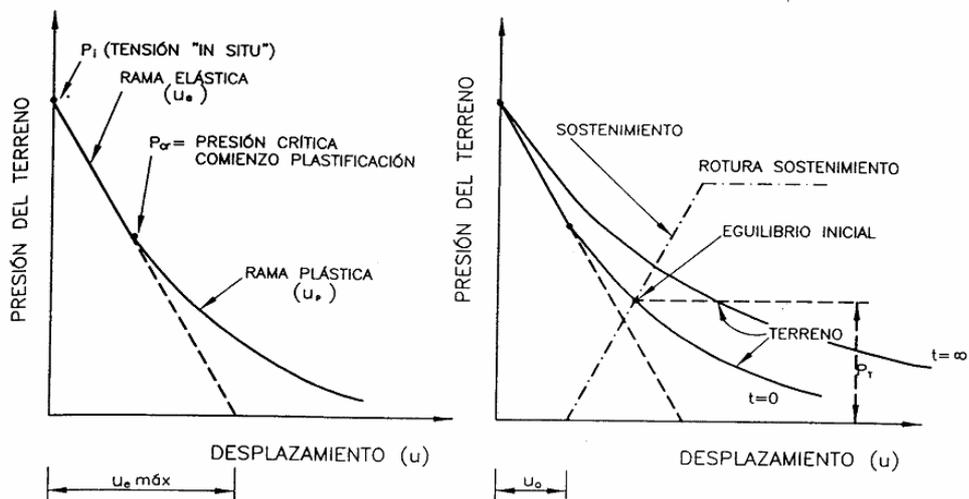


EXCAVACIÓN DE TÚNELES EN MATERIALES EXPANSIVOS

Deformaciones en el contorno de la excavación de un túnel  
(Oteo y Sagaseta 1982)



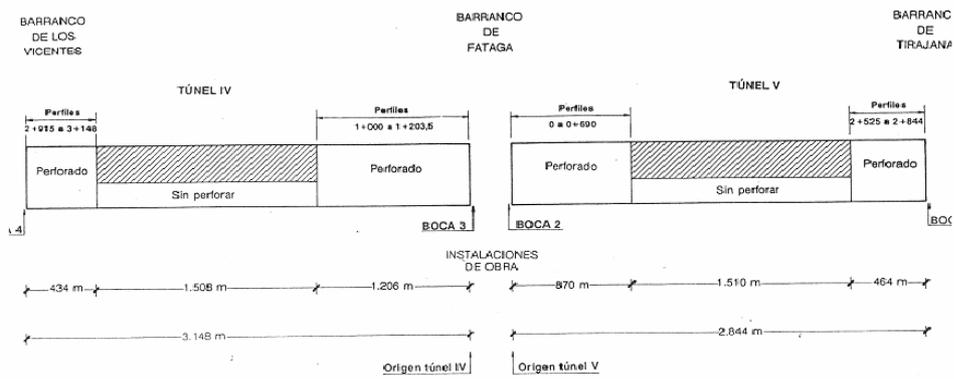
Interacción de la excavación y el sostenimiento



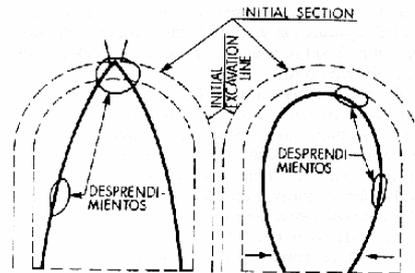
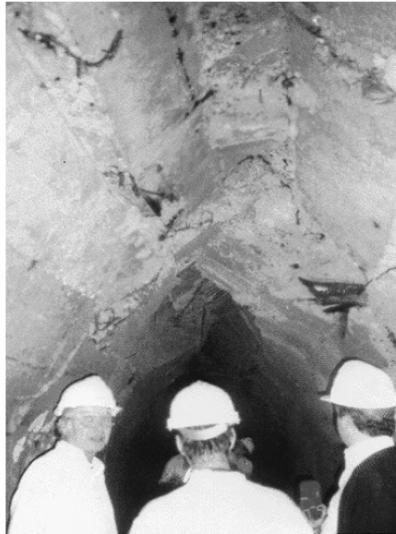
**Ejemplo práctico**

**TRASVASUR**

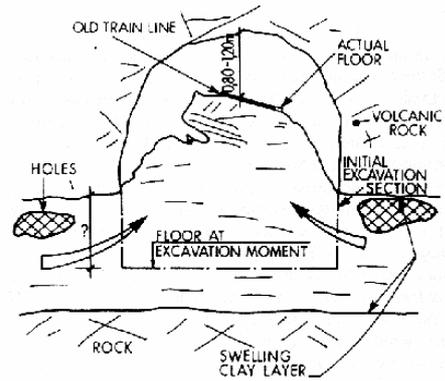
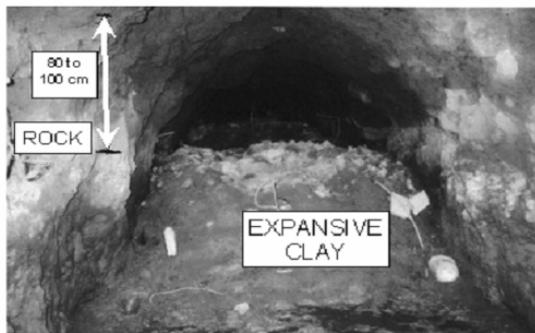
Tramos perforados y sin excavar en el momento de la parada de las obras



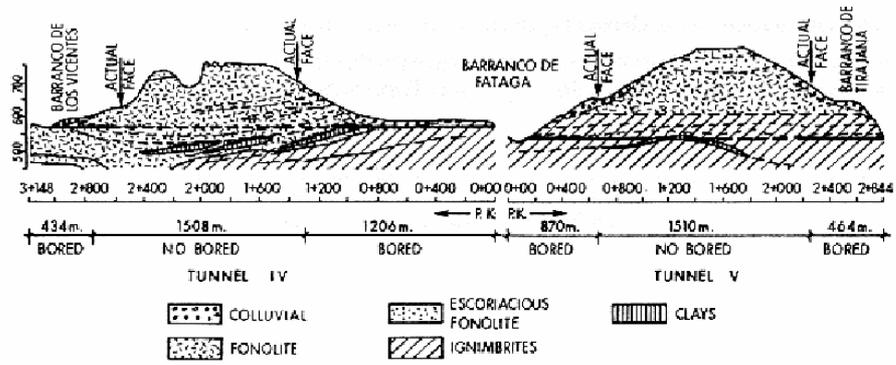
Estado del túnel IV en 1995



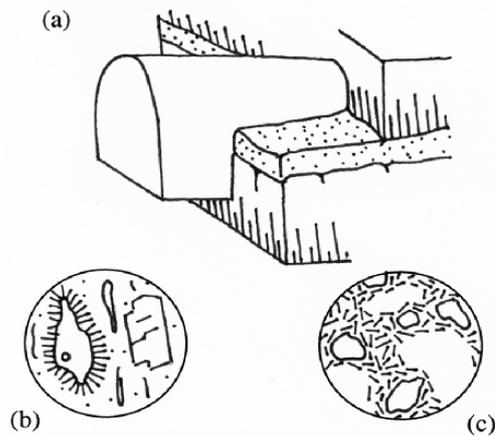
Estado del túnel V en 1995



Perfil geológico de los Túneles IV y V



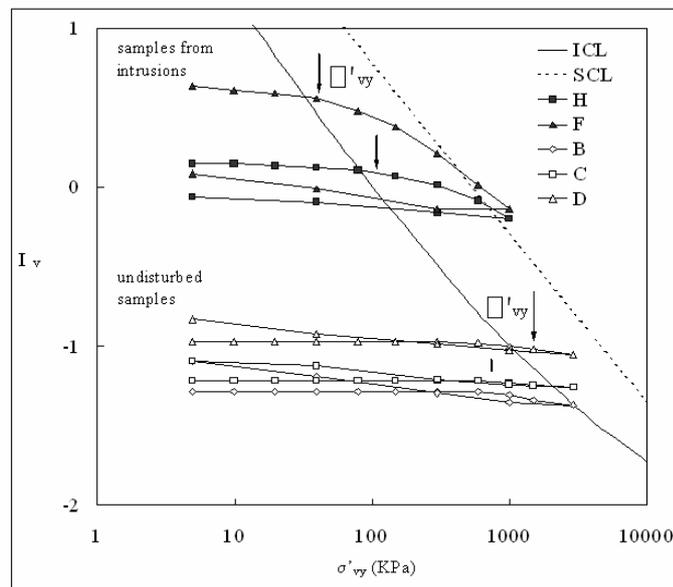
Textura de los flujos de lava y de los niveles piroclásticos expansivos



Propiedades índice de muestras procedentes de los túneles IV y V

Muestra	Prospección	Túnel	PK	Peso	Porcentaje	Humedad	LL	PL	IP	LI	Sr	USCS	
				específico									de finos
				seco $\gamma$	%	%	%	%	%	-	%		
				KN/m <sup>3</sup>									
MI-1	S2	IV	0+825	15,5	99	9	0	0	0		35	ML	
MI-2	S4	IV	0+760	12,0	97		114	44	70			CH	
MI-3	S4	IV	0+760	12,9	100	4	137	47	90	-0,5	8	CH	
MI-4	S4	IV	0+760	13,2	99	34	129	56	73	-0,3	91	MH	
MI-5	S4	IV	0+760	15,5	100	24	115	48	67	-0,4	92	MH	
MI-6	S6	V	0+645		100		84	48	36			MH	
MI-7	S6	V	0+645		100		86	45	41			MH	
MI-8	S6	V	0+645		99		85	48	37			MH	
MI-9	S5	V	0+675	19,6	92		54	23	31			CH	
MA-1	-	IV	0+820	10,0	91	64	208	44	164	0,1	100	CH	
MA-2	-	IV	0+814	10,2	90	60	198	49	149	0,1	100	CH	
MA-3	-	IV	0+805	13,3	36	21	79	38	41	-0,4	57	MH	
MA-4	-	V	0+685	13,6	64	27	78	29	49	0,0	77	CH	
MA-5	-	V	0+698	10,5	94	51	103	45	58	0,1	90	MH	
MA-6	-	V	0+705	15,8	30	25	79	28	51	-0,1	98	GC	

Ensayos edométricos sobre muestras de arcilla expansiva



Malla de elementos finitos utilizada en el análisis paramétrico

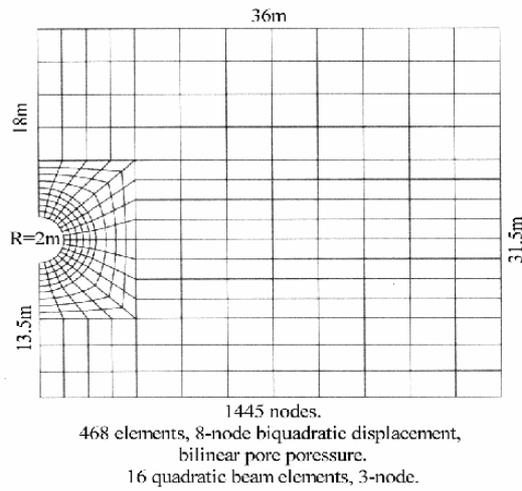
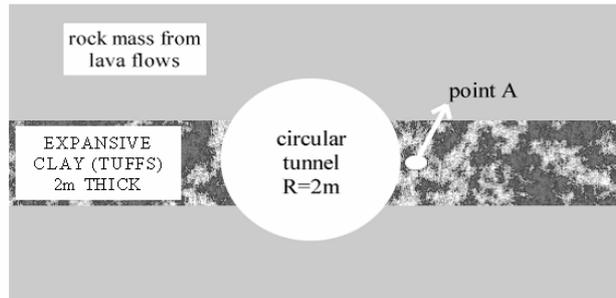


Tabla 2. Parámetros geotécnicos de los niveles de arcilla expansiva y del macizo rocoso

material	simbolo	parámetro	unidades	valor
arcillas	$G_s$	Peso específico de partículas sólidas	$\text{KN/m}^3$	26.7
	K	Coefficiente de permeabilidad	m/s	$1 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$
	$\phi'$	Ángulo de rozamiento interno efectivo	°	22°
	$K_0$	Coefficiente de empuje en reposo	-	0.8
	LL	Límite líquido	%	80
	e	Índice de huecos asociado a una humedad igual al límite líquido	-	2.18
	$C_c'$	Índice de compresión intrínseco	-	0.5181
	$C_c$	Índice de compresión operativo	-	$0.4 C_c'$
	$C_s$	Índice de esponjamiento	-	$0.1 C_c'$
roca	$\gamma$	Peso específico de conjunto	$\text{KN/m}^3$	20
	E	Modulo de Young	MPa	1500
	$\nu$	Coefficiente de Poisson	-	0.2
	UCS	Resistencia a la compresión simple	MPa	50

Esquema de un caso analizado (cs28t)



Secciones de excavación y revestimiento consideradas en el análisis paramétrico

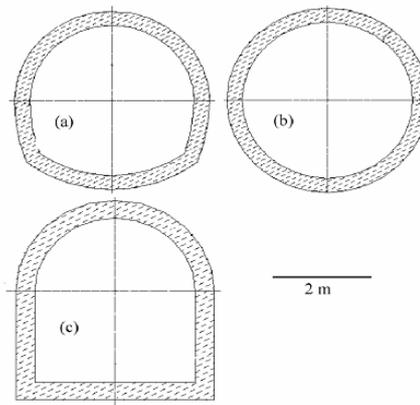


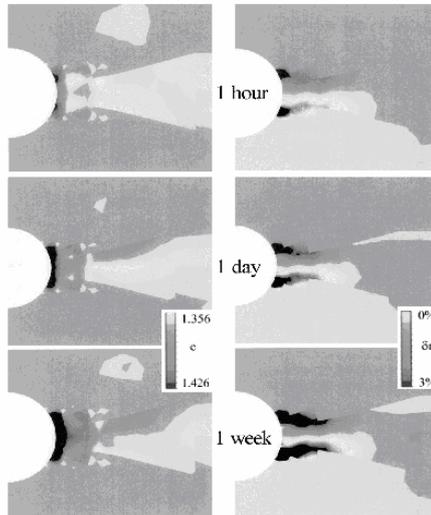
Table 3. Nomenclatura de casos estudiados en análisis paramétrico

1st letter	tunnel section	o	ovoidal
		c	circular
		h	horseshoe
2nd letter	position of the swelling layer	v	vertex (crown)
		s	sidewall
		f	floor
3rd letter	thickness and change in volume of the swelling layer	1	1 m - 2.5% volume increase upon soaking
		2	2 m - 2.5%
		n	2 m - 0%
		d	2
4th letter	depth of tunnel axis	8	18 m
		3	30 m
		5	50 m
5th letter	lining	t	0.5 m thick concrete closed lining
		p	0.5 m thick concrete open invert
		g	0.5 m thick concrete at invert and 0.05 m thick shotcrete at crown and sidewall

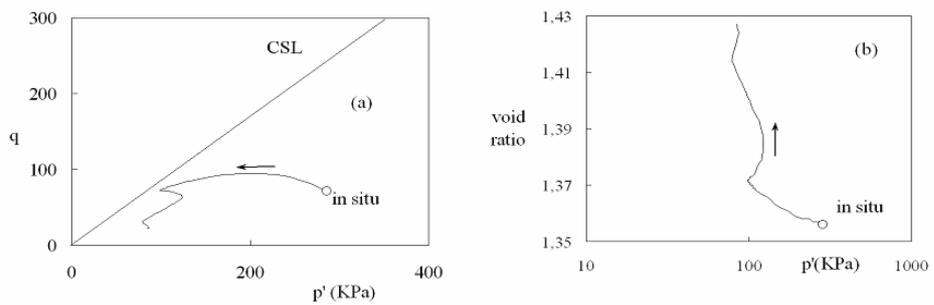
Table 4. Summary of results for a series of different cases.

CASE	maximum stress		displacements		
	tensile	compression	downwards at crown	inwards at side wall	upwards at floor
	MPa	MPa	mm	mm	mm
hv28t	0.38	-0.56	-23.4	-4.0	2.0
hs28t	12.33	-10.97	-6.2	-22.7	2.3
hf28t	2.68	-3.70	-1.4	-2.6	18.7
cvn8t	0.55	-0.81	-17.0	-2.5	2.0
cv28t	0.79	-2.14	-18.4	-2.3	1.5
cvd8t	1.42	-3.63	-20.0	-2.0	1.3
cv23t	0.86	-2.18	-13.4	-2.2	2.0
cv25t	1.33	-2.55	-13.7	-2.2	2.8
cs18t	6.95	-4.78	-6.0	-23.6	2.7
csn8t	1.10	-1.03	-12.3	-19.9	2.8
cs28t	11.99	-11.13	-6.3	-25.3	2.2
csd8t	18.73	-17.76	-1.8	-29.8	1.7
cs23t	16.97	-15.54	-6.2	-20.2	2.6
cfn8t	0.24	-0.53	-6.4	-2.4	12.8
cf28t	1.31	-2.43	0.2	-2.6	18.8
cfd8t	1.98	-4.01	5.0	-2.7	23.9
cf23t	2.94	-4.55	9.0	-2.4	23.3
cf25t	4.35	-6.08	11.5	-1.7	26.2
ov28t	0.84	-2.07	-19.3	-2.5	1.7
os28t	11.61	-9.92	-7.6	-26.9	2.5
of28t	0.31	-1.32	-0.4	-2.4	21.1
cv28p	0.69	-1.99	-18.4	-2.3	1.6
cs28p	8.81	-10.08	-5.0	-30.1	2.4
cf28p	3.02	-3.59	1.7	-3.6	21.5
hs28g	114.4	-118.28	-3.5	-38.3	2.0
cs18g	38.69	-31.39	-4.6	-29.5	2.4
cs28g	44.60	-50.92	-4.1	-34.6	1.7
os28g	61.17	-66.22	7.6	-26.9	2.5

Deformaciones estimadas en el entorno de la excavación



Trayectoria tensodeformativa de un punto próximo a la excavación



Momentos flectores estimados con presencia de arcilla expansiva al nivel de hastiales

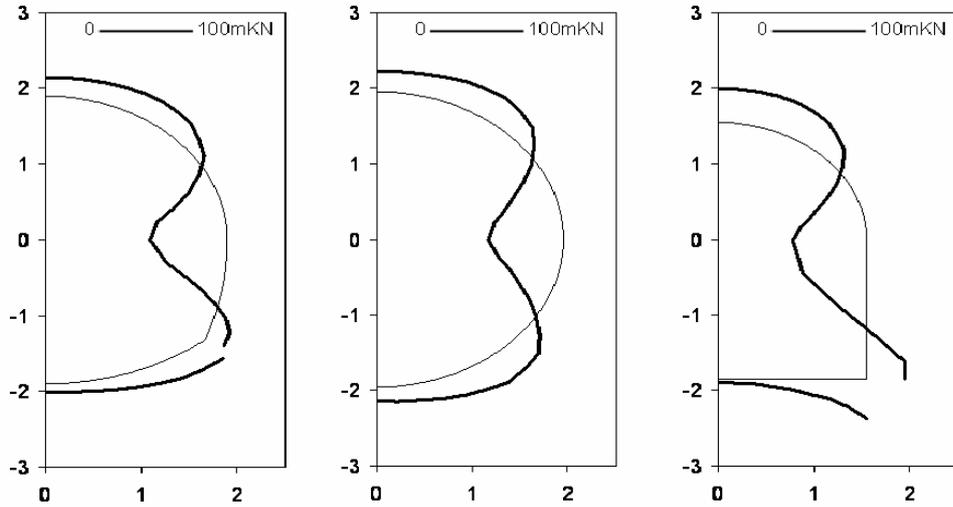


Table 5. Relative influence of factors.

Factor	Influence on the lining stresses	Influence on the lining displacements
position of expansive clay layer	very high	very high
excavation section	high	low
thickness of expansive clay layer	moderate	low
depth of axis	moderate	moderate
potential swelling	extreme	moderate
lining section	extreme	low

## LOS ESTUDIOS GEOTÉCNICOS EN EL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE)

José Estaire Gepp

Laboratorio de Geotecnia del CEDEX, Ministerio de Fomento, Madrid. E-mail: jestaire@cedex.es

### INTRODUCCIÓN

El Código Técnico de la Edificación (CTE), editado por el Ministerio de Vivienda en Marzo de 2006, es un documento que establece las exigencias básicas que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos relativos a la seguridad y a la habitabilidad.

El Código está estructurado en dos partes: una primera general que contiene las disposiciones y condiciones generales de aplicación del CTE y una segunda formada por una serie de diez textos denominados “Documentos Básicos”, en los que se recogen las especificaciones particulares que se deben contemplar para que los edificios cumplan los requisitos básicos. Los títulos de estos documentos básicos se recogen a continuación:

- SE: Seguridad Estructural.
- SE-AE: Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación.
- SE-C: Seguridad Estructural. Cimientos.
- SE-A: Seguridad Estructural. Acero.
- SE-F: Seguridad Estructural. Fábrica.
- SE-M: Seguridad Estructural. Madera.
- SI: Seguridad en caso de incendio.
- SU: Seguridad de utilización.
- HS: Salubridad. (Higiene, salud y protección del medio ambiente)
- HE: Ahorro de energía.

Entre estos Documentos Básicos (DB) está el denominado SE-C de Seguridad Estructural – Cimientos. El capítulo 3 de este DB está dedicado al “Estudio Geotécnico”, cuyo texto se recoge de forma completa en este escrito junto con comentarios a los mismos.

Desde el punto de vista de la ingeniería geotécnica, es indudable la importancia que tiene la publicación de un documento normativo como éste, en el que se define en qué consiste un Estudio Geotécnico, así como todos los aspectos relacionados con el mismo, desde el tipo y número de investigaciones y ensayos a realizar, hasta su contenido formal.

Hasta ahora existía una cierta indefensión, tanto de los técnicos redactores de los estudios geotécnicos como de los usuarios finales (los compradores de la vivienda) ya que los contenidos de cada estudio geotécnico (y por tanto su coste) dependían de los criterios dispares de los organismos de control técnico (OCT) de las compañías de seguros.

Por último, cabe indicar que todo el texto de este DB-3 Cimientos ha ido evolucionando con el paso del tiempo. Las primeras versiones podían considerarse como tratados de ingeniería de cimentaciones. La actual redacción es mucho más concisa ya que se han recogido únicamente los aspectos normativos más importantes y necesarios, llevando a los Anejos, el desarrollo de los detalles.

## **1. ASPECTOS RELEVANTES DEL CAPÍTULO 3 “ESTUDIO GEOTÉCNICO”**

En este apartado se van a comentar los criterios y aspectos más relevantes del capítulo dedicado al Estudio Geotécnico en el DB-SEC. Dado que no tiene ninguna complejidad técnica, se ha considerado más interesante incluir unas breves notas sobre los aspectos más destacados que “reescribir” el propio capítulo con un texto propio. De esta manera, se recogen los párrafos literales del texto, como imagen del documento oficial en PDF, para pasar después a comentarlos.

### 3.1 Generalidades

- 1 El estudio geotécnico es el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, que es necesaria para proceder al análisis y dimensionado de los cimientos de éste u otras obras.
- 2 Las características del terreno de apoyo se determinarán mediante una serie de actividades que en su conjunto se denomina reconocimiento del terreno y cuyos resultados quedarán reflejados en el estudio geotécnico.
- 3 El reconocimiento del terreno, que se fijará en el estudio geotécnico en cuanto a su intensidad y alcance, dependerá de la información previa del plan de actuación urbanística, de la extensión del área a reconocer, de la complejidad del terreno y de la importancia de la edificación prevista. Salvo justificación el reconocimiento no podrá ser inferior al establecido en este DB.
- 4 Para la realización del estudio deben recabarse todos los datos en relación con las peculiaridades y problemas del emplazamiento, inestabilidad, deslizamientos, uso conflictivo previo tales como hornos, huertas o vertederos, obstáculos enterrados, configuración constructiva y de cimentación de las construcciones limítrofes, la información disponible sobre el agua freática y pluviometría, antecedentes planimétricos del desarrollo urbano y, en su caso, sismicidad del municipio, de acuerdo con la Norma de Construcción Sismorresistente NCSE vigente.
- 5 Dado que las conclusiones del estudio geotécnico pueden afectar al proyecto en cuanto a la concepción estructural del edificio, tipo y cota de los cimientos, se debe acometer en la fase inicial de proyecto y en cualquier caso antes de que la estructura esté totalmente dimensionada.
- 6 La autoría del estudio geotécnico corresponderá al proyectista, a otro técnico competente o, en su caso, al Director de Obra y contará con el preceptivo visado colegial.

El punto 1 es la definición de lo que se propone en este texto normativo que sea un Estudio Geotécnico. Dada su redacción, el Estudio Geotécnico debe ser un documento que recoja toda la información necesaria para el futuro dimensionamiento de los cimientos, lo cual implica que, en principio, no parece que se obligue a realizar ningún cálculo tendente a ese dimensionado. Sin embargo, posteriormente se verá que esta afirmación debe ser matizada.

Los puntos 2, 3 y 4 se comentan posteriormente. En ellos se diferencia entre lo que significa un reconocimiento del terreno y un estudio geotécnico, dando a éste último una mayor amplitud funcional e incidencia sobre el proyecto de cimentación.

Los puntos 5 y 6 son de gran importancia ya que, aunque parecen obvios, intentan resolver dos cuestiones que se plantean frecuentemente.

La primera es la que se refiere a la visión que algunos promotores, e incluso técnicos, tiene del estudio geotécnico como de una “formalidad” más que hay que cumplir ante la Administración. Muchas veces se recibe el encargo de realizar un estudio geotécnico para una obra que ya está en fase de construcción porque no se había planteado su necesidad. Desde este punto de

vista, este texto puede servir de acicate para que estas situaciones no se repitan.

La segunda cuestión está ligada a la formación y la profesionalidad. Debido a que la geotecnia es, hoy por hoy, una buena salida profesional para muchos recién titulados, existe cierta tendencia a lanzarse al ejercicio libre de esta profesión sin la debida formación y experiencia. Muchas veces esto da como resultado estudios geotécnicos de baja calidad. Con la inclusión en el CTE del requisito del visado de los estudios geotécnicos en los colegios profesionales, se puede incrementar, en gran medida, el control profesional sobre estos estudios.

## **3.2 Reconocimiento del terreno**

### **3.2.1 Programación**

- 1 Para la programación del reconocimiento del terreno se deben tener en cuenta todos los datos relevantes de la parcela, tanto los topográficos o urbanísticos y generales del edificio, como los datos previos de reconocimientos y estudios de la misma parcela o parcelas limítrofes si existen, y los generales de la zona realizados en la fase de planeamiento o urbanización.

Los datos a recopilar referidos tanto al proyecto como al emplazamiento que se estima se debería disponer de forma previa a la realización del estudio son los indicados a continuación. Estos datos estaban recogidos en el Borrador Definitivo del DB-3, de Noviembre de 2003, que posteriormente se corrigió hasta su versión definitiva actual.

#### **a. Datos del proyecto**

- Plano topográfico del solar.
- Localización de las construcciones previstas y accesos al solar. Usos de las mismas.
- Número de plantas sobre y bajo rasante. Tipo de estructura (hormigón, metálica, muros de carga, prefabricada, etc). Disposición estructural en planta.
- Movimientos de tierra (excavaciones o rellenos) previstos en la parcela. Plano de servicios afectados.
- Reconocimientos del terreno y estudios geotécnicos efectuados con anterioridad en el solar.

Estos datos son importantes puesto que muchas veces las nuevas urbanizaciones, con importantes movimientos de tierras, enmascaran la realidad presentando parcelas planas, perfectamente regularizadas, cuando el nivel resistente se encuentra irregularmente distribuido, alcanzando a veces profundidades importantes.

Esta situación no es un hecho aislado, ya que las nuevas urbanizaciones de los municipios importantes se ubican en extrarradios que habitualmente han sido vertederos y ocasionalmente aprovechando grandes depresiones de las excavaciones ejecutadas para préstamos de tierras e incluso explotaciones mineras a cielo abierto. Además en general, el terreno bueno sin problemas geotécnicos ni morfológicos es el primero que se ha ocupado, teniendo irremediablemente que construir hoy en día en suelos o rocas más problemáticos, como así se puede ver en urbanizaciones situadas en zonas impensables hace años, especialmente en las franjas costeras.

Esta labor de investigación de datos retrospectivos de las alteraciones de origen antrópico de la superficie del terreno natural, es conveniente que parta de planimetrías lo más antiguas posible en las que se vea la topografía original.

#### b. Datos del emplazamiento

- Experiencia local y antecedentes, fundamentalmente referida a los siguientes aspectos:
  - Prácticas de cimentación en la zona.
  - Problemas geotécnicos que hubieran aparecido en las construcciones de la zona.
  - Problemas de inestabilidad, deslizamientos o hundimientos que afecten al área estudiada.
  - Utilización previa del solar o de la zona (huerta, vertedero, industria, etc.) y en especial aquellas actividades que hayan podido dar lugar a problemas ocultos (canteras, areneros, refugios, bodegas, trincheras, murallas, zonas de interés arqueológico).
- Condicionantes de la parcela y su entorno
  - Disposiciones relativas a la protección de edificios próximos y servicios públicos (vías de comunicación, cursos de agua, conducciones, servicios subterráneos o aéreos).

- Obstáculos previsibles o conocidos en el terreno como conducciones o colectores enterrados, líneas eléctricas subterráneas, líneas de metro.
- La existencia de este tipo de servicios enterrados en la parcela a investigar plantea problemas en la ejecución de los reconocimientos geotécnicos, desde el punto de vista de la seguridad laboral, ya que puede provocar accidentes, y de la planificación, ya que puede hacer variar la posición de los reconocimientos.
- Tipo y profundidad de las cimentaciones y estructuras de contención adyacentes.
- Características de las estructuras y cimentaciones medianeras.
- Condicionantes geológicos y geotécnicos
  - Configuración litológica de las formaciones presentes en el área.
  - La caracterización geomorfológica (llanuras aluviales, conos de deyección, morrenas, paleocauces, vaguadas, etc.)
  - Geología estructural: localización de fallas, fracturas u otros accidentes que puedan afectar a las obras proyectadas.
  - Riesgos geológicos: fenómenos de inestabilidad activa o potencial bien de origen natural (deslizamientos, avalanchas, subsidencia, karstificación, inundaciones, cambios de nivel freático, nivel mareal, sismología) o artificial (escombreras, fugas de canales o conducciones, huecos y cavidades). Existencia de depósitos orgánicos, suelos potencialmente expansivos o colapsables.
  - Datos existentes en el entorno respecto a estabilidad de taludes y excavaciones, problemas de meteorización, erosionabilidad y acarcavamiento.

- Se recomienda consultar los siguientes documentos:
  - Mapas geotécnicos y geológicos del Instituto Geológico y Minero de España (a escalas 1/25.000; 1/50.000; 1/100.000 y 1/200.000).
  - Mapas de Estudios Previos de Terrenos de la Dirección General de Carreteras del Ministerio de Fomento (escala 1/50.000).
  - Los datos oficiales de tipo geotécnico, hidrogeológico, edafológico, así como las cartografías de detalle recogidas en publicaciones de ámbito de la Comunidad Autónoma correspondiente, y los estudios realizados para la ejecución del proyecto de urbanización en su caso.

Finalmente, dentro de este apartado de información previa, hay que recordar la posibilidad de que el terreno de la parcela se encuentre contaminado. A este respecto, hay que tener en cuenta la existencia del Real Decreto 9/2005 de 14 de enero en el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo así como el alcance y contenido del informe preliminar de situación que se debe elaborar teniendo en cuenta que su fin último es valorar la posibilidad de que se hayan producido contaminaciones significativas en el suelo por alguna de las actividades recogidas en el propio Decreto.

- 2 A efectos del reconocimiento del terreno, la unidad a considerar es el edificio o el conjunto de edificios de una misma promoción, clasificando la construcción y el terreno según las tablas 3.1 y 3.2 respectivamente.

**Tabla 3.1. Tipo de construcción**

<b>Tipo</b>	<b>Descripción <sup>(1)</sup></b>
C-0	Construcciones de menos de 4 plantas y superficie construida inferior a 300 m <sup>2</sup>
C-1	Otras construcciones de menos de 4 plantas
C-2	Construcciones entre 4 y 10 plantas
C-3	Construcciones entre 11 a 20 plantas
C-4	Conjuntos monumentales o singulares, o de más de 20 plantas.

<sup>(1)</sup> En el cómputo de plantas se incluyen los sótanos.

**Tabla 3.2. Grupo de terreno**

Grupo	Descripción
T-1	Terrenos favorables: aquellos con poca variabilidad, y en los que la práctica habitual en la zona es de cimentación directa mediante elementos aislados.
T-2	Terrenos intermedios: los que presentan variabilidad, o que en la zona no siempre se recurre a la misma solución de cimentación, o en los que se puede suponer que tienen rellenos antrópicos de cierta relevancia, aunque probablemente no superen los 3,0 m.

T-3	<p>Terrenos desfavorables: los que no pueden clasificarse en ninguno de los tipos anteriores. De forma especial se considerarán en este grupo los siguientes terrenos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Suelos expansivos</li> <li>b) Suelos colapsables</li> <li>c) Suelos blandos o sueltos</li> <li>d) Terrenos kársticos en yesos o calizas</li> <li>e) Terrenos variables en cuanto a composición y estado</li> <li>f) Rellenos antrópicos con espesores superiores a 3 m</li> <li>g) Terrenos en zonas susceptibles de sufrir deslizamientos</li> <li>h) Rocas volcánicas en coladas delgadas o con cavidades</li> <li>i) Terrenos con desnivel superior a 15°</li> <li>j) Suelos residuales</li> <li>k) Terrenos de marismas</li> </ul>
-----	---

Los terrenos se han dividido en función de la variabilidad de su respuesta ante la cimentación, ya que es inviable, desde un punto de vista normativo, una clasificación basada en la naturaleza geológica del terreno.

- 3 La densidad y profundidad de reconocimientos debe permitir una cobertura correcta de la zona a edificar. Para definirlos se tendrá en cuenta el tipo de edificio, la superficie de ocupación en planta y el grupo de terreno.
- 4 Con carácter general el mínimo de puntos a reconocer será de tres. En la tabla 3.3 se recogen las distancias máximas  $d_{m\acute{a}x}$  entre puntos de reconocimiento que no se deben sobrepasar y las profundidades orientativas P bajo el nivel final de la excavación. La profundidad del reconocimiento en cada caso se fijará teniendo en cuenta el resto del articulado de este capítulo y el corte geotécnico del terreno.

- 5 Todos los puntos de reconocimiento, en planimetría y altimetría, deben quedar reflejados en un plano, referidos a puntos fijos claramente reconocibles del entorno, o en su defecto a coordenadas UTM.

**Tabla 3.3. Distancias máximas entre puntos de reconocimiento y profundidades orientativas**

Tipo de construcción	Grupo de terreno			
	T1		T2	
	$d_{m\acute{a}x}$ (m)	P (m)	$d_{m\acute{a}x}$ (m)	P (m)
C-0, C-1	35	6	30	18
C-2	30	12	25	25
C-3	25	14	20	30
C-4	20	16	17	35

Esta tabla se considera muy interesante puesto que incluye unas pautas básicas sobre la cantidad de puntos de reconocimiento y su espaciamiento en la parcela. Para ello, primeramente clasifica los edificios en cuatro categorías en función del número de plantas (Tabla 3.1) y los terrenos en tres grupos en función de sus características geotécnicas generales (Tabla 3.2).

- 6 En el caso de que las distancias  $d_{m\acute{a}x}$  excedan las dimensiones de la superficie a reconocer, deben disminuirse hasta que se cumpla con el número de puntos mínimos requeridos.
- 7 En el caso de edificios con superficies en planta superiores a los 10.000 m<sup>2</sup> se podrá reducir la densidad de puntos. Esta reducción tendrá como límite el 50% de los obtenidos mediante la regla anterior aplicada sobre el exceso de la superficie.

- 8 Las condiciones fijadas anteriormente no son de aplicación en los reconocimientos del terreno para la elaboración de los estudios geotécnicos de los proyectos de urbanización.
- 9 En la tabla 3.4 se establece el número mínimo de sondeos mecánicos y el porcentaje del total de puntos de reconocimiento que pueden sustituirse por pruebas continuas de penetración cuando el número de sondeos mecánicos exceda el mínimo especificado en dicha tabla.

**Tabla 3.4. Número mínimo de sondeos mecánicos y porcentaje de sustitución por pruebas continuas de penetración**

	Número mínimo		% de sustitución	
	T-1	T-2	T-1	T-2
C-0	-	1	-	66
C-1	1	2	70	50
C-2	2	3	70	50
C-3	3	3	50	40
C-4	3	3	40	30

- 10 Debe comprobarse que la profundidad planificada de los reconocimientos ha sido suficiente para alcanzar una cota en el terreno por debajo de la cual no se desarrollarán asientos significativos bajo las cargas que pueda transmitir el edificio, tal y como se indica en los distintos capítulos de este DB.

- 11 Dicha cota podrá definirse como la correspondiente a una profundidad tal que en ella el aumento neto de tensión en el terreno bajo el peso del edificio sea igual o inferior al 10% de la tensión efectiva vertical existente en el terreno en esa cota antes de construir el edificio, a menos que se haya alcanzado una unidad geotécnica resistente tal que las presiones aplicadas sobre ella por la cimentación del edificio no produzcan deformaciones apreciables.
- 12 La unidad geotécnica resistente a la que se hace referencia en el párrafo anterior debe comprobarse en una profundidad de al menos 2 m, más 0,3 m adicionales por cada planta que tenga la construcción.
- 13 El aumento neto de tensión en el terreno, al que se hace referencia en el párrafo 11 de este apartado, podrá determinarse utilizando los ábacos y tablas existentes en la literatura geotécnica de uso habitual ó también, de forma aproximada, suponiendo que la carga del edificio se distribuye uniformemente en cada profundidad sobre una superficie definida por planos que, buzando hacia el exterior del área cargada en la superficie del terreno, alcanzan dicha profundidad con líneas de máxima pendiente 1H:2V.

En general, se puede suponer que las distribuciones de tensiones obtenidas por métodos elásticos reproducen suficientemente la realidad. Desde este punto de vista, una de las soluciones más utilizadas para el cálculo del incremento de tensión vertical bajo la esquina de un rectángulo cargado uniformemente es la debida a Steinbrenner, cuya formulación fue introducida en el ábaco de Fadum (1948), representado en la figura 1. La fórmula de Steinbrenner indica que el incremento de tensión vertical ( $\Delta\sigma_v$ ) en cualquier punto es igual al producto de la carga aplicada  $q$  y de un coeficiente de influencia  $I_\sigma$ . Los valores de dicho coeficiente se pueden obtener directamente de ábaco de la figura 1.

Por otra parte, en la figura 2 se pueden ver los incrementos de tensión vertical originados por una presión de intensidad ( $\Delta q_s$ ), distribuida

uniformemente sobre la superficie de un círculo de radio R. Se han representado las líneas de igual incremento tensional, lo que permite visualizar el efecto que produce en profundidad una carga de extensión finita.

En la mayoría de los casos, se puede suponer que el límite de interés se circunscribe a puntos del terreno en los que el incremento de tensión vertical es del orden del 10% de la carga en superficie. Por debajo de esa zona, la sobretensión recibida por el terreno es lo suficientemente pequeña como para que sus efectos se puedan despreciar. En la figura 2, se puede apreciar que la zona a la que llega un 10% de la carga en superficie se desarrolla hasta una profundidad aproximada de unos 2 diámetros (o dos anchos) del área cargada, como se indicaba anteriormente.

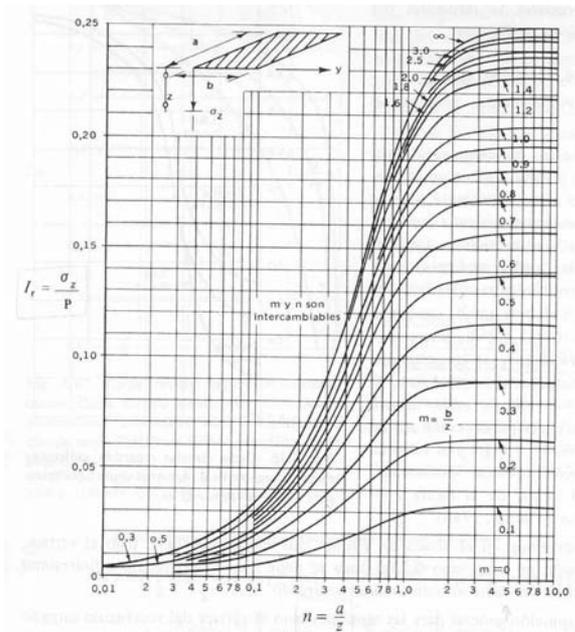


Figura 1: Ábaco de Fadum

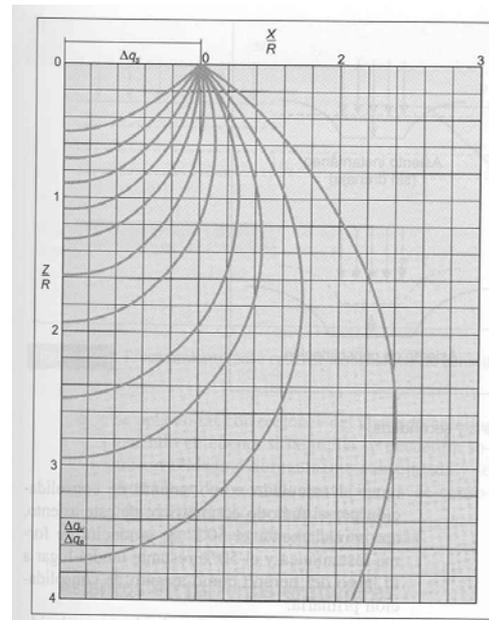


Figura 2: Distribución de tensiones en profundidad por efecto de una carga uniformemente repartida en un círculo

Esta es la razón por la que la profundidad recomendable por debajo del plano de cimentación suele ser el doble de la anchura de las zapatas (B). Se debe recordar que, en el caso de una estructura cuyos apoyos se sitúan a una

distancia menor de  $4B$ , la profundidad recomendable de reconocimiento deberá incrementarse hasta el doble de la anchura total del grupo de zapatas, es decir, como si se tratase de una cimentación por losa. Esto se debe a que los bulbos de tensiones de cada apoyo se solapan, por lo que la profundidad del terreno afectado por la cimentación aumenta.

Todas estas consideraciones implican que la profundidad de los sondeos depende finalmente de las características de las cimentaciones que se proyectarán, datos que lógicamente se desconocen en el momento de planificar la campaña. Esto hace que haya que recordar que, en caso de duda, siempre es más costoso tener que repetir los sondeos que profundizarlos cuando todavía se está a tiempo.

- 14 En el caso de que se prevean cimentaciones profundas se llevarán a cabo las comprobaciones indicadas en los párrafos 10 y 11 suponiendo que la cota de aplicación de la carga del edificio sobre el terreno es la correspondiente a una profundidad igual a las dos terceras partes de la longitud de los pilotes. Salvo justificación, en el caso de pilotes columna se comprobará que la profundidad investigada alcanza aproximadamente cinco diámetros (5D) por debajo de la punta del pilote previsible a utilizar.

A este respecto, hay que tener en cuenta que normalmente se empieza a tener cierta idea sobre el tipo de cimentación a utilizar en un proyecto en las primeras fases del estudio geotécnico. La recopilación de datos del emplazamiento debe incluir, como anteriormente se apuntaba, la *experiencia local y antecedentes*; y dentro de éstos, como puntos de mayor interés se consideran las prácticas de cimentación en la zona.

Sin embargo, hay que indicar que, aunque no existan antecedentes en la zona, el análisis de las características geológica-geotécnicas del sustrato permite prever su futuro comportamiento ante las cargas del proyecto. En todo caso, conviene resaltar que, en caso de duda, siempre es más costoso tener que repetir los sondeos que profundizarlos cuando todavía se está a tiempo.

Por otra parte, en el caso de pilotes columna, la norma indica que el reconocimiento penetre hasta 5 diámetros en el nivel resistente, con objeto de investigar toda la zona activa del pilote, es decir, toda la zona en la que las sobretensiones verticales van a ser elevadas.

Por último, hay que resaltar que la profundidad final del reconocimiento se debe incrementar en el caso de que existan sótanos, ya que el plano de cimentación descenderá de cota.

- 15 En caso de terrenos del grupo T-3 o cuando el reconocimiento se derive de otro que haya resultado insuficiente, se intercalarán puntos de reconocimiento en las zonas problemáticas hasta definirlos adecuadamente.

### 3.2.2 Prospección

- 1 La prospección del terreno podrá llevarse a cabo mediante calicatas, sondeos mecánicos, pruebas continuas de penetración o métodos geofísicos. En el anejo C se describen las principales técnicas de prospección así como su aplicabilidad, que se llevarán a cabo de acuerdo con el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- 2 En los reconocimientos de los tipos de construcción C-0 y grupo de terreno T-1, las pruebas de penetración deben complementarse siempre con otras técnicas de reconocimiento como podrían ser calicatas. En otros casos, en el reconocimiento se podrán utilizar las pruebas de penetración para la identificación de unidades geotécnicas, que deben contrastarse mediante sondeos mecánicos.
- 3 En el marco del presente DB no se pueden utilizar exclusivamente métodos geofísicos para caracterizar el terreno, debiendo siempre contrastarse sus resultados con los sondeos mecánicos.
- 4 En general, se podrán aplicar las técnicas geofísicas para la caracterización geotécnica y geológica, con el objeto de complementar datos, mejorar su correlación, acometer el estudio de grandes superficies y determinar los cambios laterales de facies, no siendo aconsejable en cascos urbanos consolidados.

Es de destacar el contenido del Anejo C, en el que se desarrollan ampliamente las técnicas de prospección más usuales en edificación como son las calicatas, los sondeos, las pruebas continuas de penetración y las técnicas geofísicas. A este respecto, conviene recordar lo indicado en el Punto 3 sobre la imposibilidad de utilizar únicamente las técnicas geofísicas como método para caracterizar el terreno, obligando siempre a que sus resultados se contrasten con los obtenidos mediante sondeos.

### 3.2.3 Ensayos de campo

- 1 Son ensayos que se ejecutan directamente sobre el terreno natural y que proporcionan datos que pueden correlacionarse con la resistencia, deformabilidad y permeabilidad de una unidad geotécnica a una determinada profundidad. Se distinguen, como más usuales, los siguientes:
  - a) en sondeo: ensayo de penetración estándar (SPT), ensayo de molinete (Vane Test), ensayo presiométrico (PMT), ensayo Lefranc, ensayo Lugeon;
  - b) en superficie o en pozo: ensayo de carga con placa;
  - c) en pozo: ensayo de bombeo.

- 2 En el caso de suelos con un porcentaje apreciable de grava gruesa, cantos y bolos y cuando la importancia del edificio lo justifique, se pueden contrastar los valores de resistencia SPT con los valores de velocidad de transmisión de las ondas S obtenidas mediante ensayos de tipo "cross-hole" o "down-hole".
- 3 En el apartado 4.2.3.1 se proporcionan algunas de las correlaciones más frecuentemente utilizadas entre las pruebas continuas de penetración estáticas y el ensayo SPT.
- 4 La descripción y condiciones de utilización de estos ensayos se indican en la tabla D.7.

Es interesante resaltar las Tablas D-6 y D-7 del Anejo D puesto que presentan un listado completo de todos los trabajos de campo y ensayos de campo y laboratorio que se pueden llevar a cabo para la realización de un correcto reconocimiento del terreno, indicando además los terrenos más aptos para cada tipo de prueba y los objetivos básicos de cada una de ellas.

### 3.2.4 Toma de muestras

- 1 El objetivo de la toma de muestras es la realización, con una fiabilidad suficiente, de los ensayos de laboratorio pertinentes según las determinaciones que se pretendan obtener. Por tanto en la toma de muestras se deben cumplir unos requisitos diferentes según el tipo de ensayo que se vaya a ejecutar sobre la muestra obtenida.
- 2 Se especifican tres categorías de muestras:
  - a) muestras de categoría A: son aquellas que mantienen inalteradas las siguientes propiedades del suelo: estructura, densidad, humedad, granulometría, plasticidad y componentes químicos estables;
  - b) muestras de categoría B: son aquellas que mantienen inalteradas las siguientes propiedades del suelo: humedad, granulometría, plasticidad y componentes químicos estables;
  - c) muestras de categoría C: todas aquellas que no cumplen las especificaciones de la categoría B.
- 3 En la tabla 3.5 se señala la categoría mínima de la muestra requerida según los tipos de ensayos de laboratorio que se vayan a realizar.

**Tabla 3.5. Categoría de las muestras de suelos y rocas para ensayos de laboratorio**

Propiedades a determinar	Categoría mínima de la muestra
- Identificación organoléptica	C
- Granulometría	C
- Humedad	B
- Límites de Atterberg	C
- Peso específico de las partículas	B
- Contenido en materia orgánica y en CaCO <sub>3</sub>	C
- Peso específico aparente. Porosidad	A
- Permeabilidad	A
- Resistencia	A
- Deformabilidad	A
- Expansividad	A
- Contenido en sulfatos solubles	C

- 4 En la categoría A, los tomamuestras que se empleen en los sondeos se recomienda se ajusten a las especificaciones de la tabla 3.6 en función del tipo de suelo en que se ejecute la toma y el diámetro interior D<sub>i</sub> de la zapata utilizada.

Tabla 3.6. Especificaciones de la categoría A de tomamuestras						
Tipo de suelo	Sistema de hincado	Diámetro interior $D_i$	Despeje interior $D$	Relación de Áreas $R_a$	Espesor Zapata del tomamuestras $E$	Angulo de zapata de corte
Arcillas, Limos, Arenas finas	Presión	> 70 mm	≤ 1%	≤ 15	≤ 2 mm	≤ 5°
Arenas medias Arenas gruesas Mezclas	Presión Golpeo	> 80 mm	≤ 3 %	≤ 15	≤ 5 mm	≤ 10°
Con los valores de las siguientes expresiones:						
$D = \frac{D_e - D_i}{D_i} \cdot 100$						(3.1)
$R_a = \frac{D_e^2 - D_i^2}{D_i^2} \cdot 100$						(3.2)
$E = \frac{D_e - D_i}{2}$						(3.3)
siendo						
$D_e$		el diámetro exterior de la zapata del tomamuestras				
$D_i$		el diámetro interior de la zapata del tomamuestras				

Estas dos tablas, junto con la Tabla D-8 merecen especial atención puesto que se especifica, respectivamente, la categoría que debe tener la muestra a ensayar en laboratorio en función del ensayo de laboratorio a ejecutar y las características técnicas de los tomamuestras para la toma de muestras de mayor calidad. Estos datos permiten utilizar este DB3 como referente en los pliegos de ejecución de trabajos de reconocimiento, especialmente en lo que se refiere a la toma de muestras inalteradas.

- 5 En la tabla D.8 se especifican los diferentes tipos de tomamuestras, el método de hincado y la categoría adjudicada.
- 6 Además de las muestras de suelo o roca señaladas, el reconocimiento geotécnico debe incluir la toma de muestras de agua de los distintos acuíferos encontrados, en el fin de prever posibles problemas de agresividad o contaminación. En algunos casos estas muestras servirán para una mejor definición de la hidrogeología de la zona de estudio.
- 7 Una vez extraídas las muestras se procederá a su parafinado o protección adecuada y se trasladarán al laboratorio de ensayo en las mejores condiciones posibles.

### 3.2.5 Caracterización de macizos rocosos

- 1 A los efectos de este DB, un macizo rocoso se caracteriza por la resistencia de la roca matriz, que debe matizarse con otras propiedades de su discontinuidad, como son: apertura, rugosidad, tipo de relleno, espaciamiento, índice de fracturación, persistencia, clase RQD, o presencia de agua. Dichos parámetros podrán utilizarse para determinar otros índices, tales como el RMR, indicativos del comportamiento global del macizo rocoso. En las tablas D.9 a D.17 se indican criterios para esta caracterización.

A este respecto, también son de destacar todas las tablas relativas a la caracterización de los macizos rocosos (Tablas D-9 a D-17, indicadas en el texto del DB3) pues suponen un buen compendio de las clasificaciones utilizadas en la práctica habitual para la caracterización de macizos rocosos.

### 3.2.6 Ensayos de laboratorio

- 1 De todas las muestras obtenidas en calicatas o sondeos se hará una descripción detallando aquellos aspectos que no son objeto de ensayo, como el color, olor, litología de las gravas o trozos de roca, presencia de escombros o materiales artificiales, etc, así como eventuales defectos en la calidad de la muestra, para ser incluida en algunas de las categorías A o B.
- 2 El número de determinaciones del valor de un parámetro de una unidad geotécnica investigada será el adecuado para que éste sea fiable. Para una superficie de estudio de hasta 2000 m<sup>2</sup>, en cada unidad de importancia geotécnica se considera orientativo el número de determinaciones que se indica en la tabla 3.7.
- 3 Deberá procurarse que los valores se obtengan de muestras procedentes de puntos de investigación diferentes, una vez que se hayan identificado como pertenecientes a la misma capa. Las determinaciones se podrán obtener mediante ensayos en laboratorio, o si es factible con ensayos in situ, aplicando las oportunas correlaciones si fueran necesarias.

- 4 Para superficies mayores se multiplicarán los números de la tabla 3.7 por  $(s/2000)^{1/2}$ , siendo s la superficie de estudio en m<sup>2</sup>.

**Tabla 3.7. Número orientativo de determinaciones in situ o ensayos de laboratorio para superficies de estudio de hasta 2000 m<sup>2</sup>**

Propiedad	Terreno	
	T-1	T-2
Identificación		
Granulometría	3	6
Plasticidad	3	5
Deformabilidad		
Arcillas y limos	4	6
Arenas	3	5
Resistencia a compresión simple		
Suelos muy blandos	4	6
Suelos blandos a duros	4	5
Suelos fisurados	5	7
Resistencia al corte		
Arcillas y Limos	3	4
Arenas	3	5
Contenido de sales agresivas	3	4

- 5 Los ensayos indicados en la tabla 3.7 corresponden a cada unidad geotécnica que pueda ser afectada por las cimentaciones. El número de determinaciones in situ o ensayos indicados corresponde a edificios C-1 ó C-2. Para edificios C-3 o C-4 los valores del cuadro se recomienda incrementarlos en un 50%.

Hay que indicar que los valores recogidos en la tabla anterior pueden ser muy útiles a la hora de convencer al propietario o promotor de la necesidad de

realizar todos esos ensayos con el consiguiente gasto económico que suponen. Sin embargo, hay que tener en cuenta que muchos de los valores indicados en la tabla son muy superiores a los utilizados normalmente en la práctica habitual.

- |   |   |
|---|---|
| 6 | Para terrenos tipo T-3 se decidirá el tipo y número de determinaciones, que nunca serán inferiores a las indicadas para el T-2.                   |
| 7 | En la tabla D.18 se indican ensayos considerados adecuados para la determinación de las propiedades más usuales de un suelo o de una roca matriz. |

- |    |   |
|----|---|
| 8  | Los resultados de los ensayos granulométricos de suelos permitirán matizar los criterios de clasificación denominándolos con una palabra según su componente principal que podrá acompañarse de calificativos y sufijos según los componentes secundarios teniendo en cuenta el baremo de proporción en % de peso de cada fracción de suelo según se indica en las tablas D.20 y D.21.      |
| 9  | Para la comprobación de los estados límite considerados en los distintos capítulos de este DB se distinguirá entre aquellos suelos cuya proporción en finos (limo + arcilla) sea inferior al 35% y los que superen dicha proporción, pudiéndose denominar unos y otros tal y como se indica en las tablas D.20 y D.21.  |
| 10 | La acidez Baumann-Gully y el contenido en sulfatos, detectados en muestras de suelo y rocas, así como determinados componentes químicos, presentes en el agua freática, permiten clasificar la agresividad química del terreno frente al hormigón. En la tabla D.22 figura la clasificación de la agresividad química recogida en la Instrucción de Hormigón Estructural EHE.               |
| 11 | Para caracterizar la agresividad del agua freática se tomará como mínimo una muestra en el 50% de los sondeos.  |
| 12 | La Instrucción EHE establece el empleo de cementos que posean resistencia adicional a los sulfatos, según la norma UNE 80303:96, para una exposición tipo Q, es decir, siempre que el contenido en sulfatos del terreno sea igual o mayor a 3000 mg/kg ( $\text{SO}_4^{2-}$ en suelos $\geq 3000$ mg/kg) y de 600 mg/kg en el agua freática ( $\text{SO}_4^{2-}$ en aguas $\geq 600$ mg/l). |

Es interesante resaltar el porcentaje de finos (35%) por encima del cual se identifica el comportamiento geotécnico del material como cohesivo frente al comportamiento granular de materiales con porcentajes de finos inferiores a ese 35%. Sin embargo, se puede indicar que dicho valor es algo elevado. En la Guía de Cimentaciones de Obras de Carreteras dicho valor límite se ha fijado en 15%.

### 3.3 Contenido del estudio geotécnico

- |   |  |
|---|--|
| 1 | El estudio geotécnico incluirá los antecedentes y datos recabados, los trabajos de reconocimiento efectuados, la distribución de unidades geotécnicas, los niveles freáticos, las características geotécnicas del terreno identificando en las unidades relevantes los valores característicos de los parámetros obtenidos y los coeficientes sismorresistentes, si fuere necesario. |
|---|--|

En este apartado se indica la estructura que debe tener el informe escrito para que se recojan, de forma ordenada y lógica, todas las fases del estudio llevadas a cabo, los resultados que se han ido obteniendo en los trabajos realizados y las conclusiones a las que se ha llegado en base a los resultados obtenidos. En este punto tampoco se indica nada sobre un posible dimensionamiento de las cimentaciones.

- 2 En el estudio se recogerá la distribución de unidades geotécnicas diferentes, sus espesores, extensión e identificación litológica, hasta la profundidad establecida en los reconocimientos. Para ello se elegirán los perfiles geotécnicos longitudinales y transversales que mejor representen la distribución de estas unidades. Para los edificios de categoría C-0 y C-1 el número de perfiles mínimo será de dos y para el resto de tres. Se determinará en su caso la unidad geotécnica resistente, así como las agrupaciones de unidades geotécnicas de similares características. Igualmente se recogerá la profundidad de las aguas freáticas y, en su caso, las oscilaciones de las mismas.
- 3 De cada una de las unidades geotécnicas relevantes se dará su identificación, en los términos contenidos en las tablas de este DB, y de acuerdo con los ensayos y otra información de contraste utilizada, los parámetros esenciales para determinar la resistencias de cada unidad geotécnica, tales como densidad, rozamiento, cohesión, y los de deformabilidad, expansividad, colapso, y parámetros de agresividad de agua y terreno.

No se especifica qué tipo de valor es el que debe asignarse a cada parámetro aunque del punto 1 se desprende que será el valor característico, el cual se define como “*una estimación prudente de su valor en el contexto del estado límite que se considere*”.

- 4 En municipios con aceleración sísmica de al menos 0,08 g, o si se ha solicitado expresamente, de cada sondeo, se identificará la clasificación de cada unidad geotécnica o estrato a efectos de su comportamiento sísmico, según la NSCE. Si no se ha explorado hasta 30 m de profundidad, se justificará el valor asignado a los estratos por debajo de la profundidad explorada. El coeficiente C de cada sondeo se establecerá como promedio del valor de cada estrato, ponderado con su espesor. Si los resultados de los distintos sondeos son diferentes, se concluirá, justificadamente, el valor C con el que debe obtenerse tanto la acción sísmica del emplazamiento, como el cálculo de dicho efecto en el edificio y sus cimientos. La justificación será tanto más matizada cuanto más se aparte el valor de C de 1,15
- 5 Los resultados del estudio, incluyendo la descripción del terreno, se referirán a las distintas unidades geotécnicas. En su caso, las posibles alternativas de solución de cimentación, excavación o elementos de contención en su caso, técnica y económicamente viables, se establecerán de acuerdo con los problemas planteados así como de la posible interacción con otros edificios y servicios próximos.

Este punto implica la importancia de recabar información sobre el tipo de cimentación, incluyendo la profundidad, de los edificios medianeros, especialmente en el caso de solares en los centros urbanos, ya que

condicionan la ejecución de excavaciones y el sistema de sostenimiento, impidiendo en algunos casos la disposición de anclajes. Además, debe tenerse en cuenta que la construcción de pantallas en presencia de acuíferos, así como el rebajamiento de sus cotas de nivel puede afectar negativamente a la estabilidad de las cimentaciones vecinas.

- |   |  |
|---|--|
| 6 | El estudio geotécnico contendrá un apartado expreso de conclusiones y, en su caso, a petición del proyectista o del Director de Obra, de recomendaciones constructivas en relación con la cimentación e incluirá los anejos necesarios. En el apartado de conclusiones y recomendaciones se recogerán éstas de tal forma que se puedan adoptar las soluciones más idóneas para la realización del proyecto para el que se ha hecho el estudio geotécnico. Asimismo se indicarán los posibles trabajos complementarios a realizar en fases posteriores, antes o durante la obra, a fin de subsanar las limitaciones que se hayan podido observar. |
| 7 | Las recomendaciones antedichas serán cualitativas y cuantitativas, concretando todos los valores necesarios con la precisión requerida para ser utilizados para el análisis y dimensionado de los cimientos, los elementos de contención o el movimiento de tierras.   |

- |   |  |
|---|--|
| 8 | El estudio, en función del tipo de cimentación, debe establecer los valores y especificaciones necesarios para el proyecto relativos a:<br>a) cota de cimentación;<br>b) presión vertical admisible (y de hundimiento) en valor total y, en su caso, efectivo, tanto bruta como neta;<br>c) presión vertical admisible de servicio (asientos tolerables) en valor total y, en su caso, efectivo, tanto bruta como neta;<br>d) en el caso de pilotes, resistencia al hundimiento desglosada en resistencia por punta y por fuste;<br>e) parámetros geotécnicos del terreno para el dimensionado de elementos de contención. Empujes del terreno: activo, pasivo y reposo;<br>f) datos de la ley "tensiones en el terreno-desplazamiento" para el dimensionado de elementos de pantallas u otros elementos de contención;<br>g) módulos de balasto para idealizar el terreno en cálculos de dimensionado de cimentaciones y elementos de contención, mediante modelos de interacción suelo-estructura;<br>h) resistencia del terreno frente a acciones horizontales;<br>i) asientos y asientos diferenciales, esperables y admisibles para la estructura del edificio y de los elementos de contención que se pretende cimentar; |
|---|--|

- j) calificación del terreno desde el punto de vista de su ripabilidad, procedimiento de excavación y terraplenado más adecuado. Taludes estables en ambos casos, con carácter definitivo y durante la ejecución de las obras;
- k) situación del nivel freático y variaciones previsibles. Influencia y consideración cuantitativa de los datos para el dimensionado de cimentaciones, elementos de contención, drenajes, taludes e impermeabilizaciones;
- l) la proximidad a ríos o corrientes de agua que pudieran alimentar el nivel freático o dar lugar a la socavación de los cimientos, arrastres, erosiones o disoluciones;
- m) cuantificación de la agresividad del terreno y de las aguas que contenga, para su calificación al objeto de establecer las medidas adecuadas a la durabilidad especificada en cimentaciones y elementos de contención, de acuerdo con los Documentos Básicos relativos a la seguridad estructural de los diferentes materiales o la instrucción EHE;
- n) caracterización del terreno y coeficientes a emplear para realizar el dimensionado bajo el efecto de la acción sísmica;
- o) cuantificación de cuantos datos relativos al terreno y a las aguas que contenga sean necesarios para el dimensionado del edificio, en aplicación de este DB, otros Documentos Básicos relativos a la seguridad estructural de los diferentes materiales o la instrucción EHE, y a otros DB, especialmente al DB-HS (Habitabilidad: Salubridad);
- p) cuantificación de los problemas que pueden afectar a la excavación especialmente en el caso de edificaciones o servicios próximos existentes y las afecciones a éstos;
- q) relación de asuntos concretos, valores determinados y aspectos constructivos a confirmar después de iniciada la obra, al inicio de las excavaciones, o en el momento adecuado que así se indique, y antes de ejecutar la cimentación, los elementos de contención o los taludes previstos.

Dada esta lista tan exhaustiva que se debe concretar cuantitativamente sobre el dimensionado de los cimientos, el estudio geotécnico se convierte de hecho en un proyecto de cimentaciones.

Además, de acuerdo a las especificaciones que se incluyen en este punto, surge la necesidad por parte del calculista geotécnico de conocer con cierto detalle el proyecto estructural de la edificación, para resolver con fiabilidad y suficiente aproximación a la realidad, los apartados c-d-e-g-h-j.

Así, las presiones verticales admisibles frente al hundimiento y a los asentos, en las diferentes valoraciones especificadas, dependen de la cota y geometría del cimiento y, éste a su vez de las cuantías transmitidas. Es decir, se requiere efectuar un cálculo iterativo a partir de las cuantías de las acciones, incluido el caso de una cimentación por pilotes en la que el diámetro de los pilotes influye en la valoración de la resistencia por la punta requerida.

Por otro lado, la rigidez de la estructura, bien sea de contención o del edificio, es condicionante para las determinaciones exigidas en los apartados g-h, por lo que si no se conocen las luces y las cargas de elementos contiguos

dispares, las estimaciones que se puedan llevar a cabo tienen una elevada probabilidad de resultar irreales.

El calculista geotécnico puede optar, ante la falta de información, por estimar unas cargas estándar para las luces habituales en la edificación y un número ed forjados similar a los edificios vecinos, en el caso de que los haya o bien tomar como referencia los que reglamentan las normas subsidiarias del municipio, para cada barrio o urbanización.

Este procedimiento, muchas veces inevitable, para cumplir con lo solicitado, produce con frecuencia desajustes significativos entre las recomendaciones del estudio geotécnico y lo adoptado como solución constructiva en el proyecto.

Estas disparidades son la causa de numerosas peticiones de aclaraciones, incluso de reservas técnicas, que los Organismos de Control Técnico (OCT) presentan cuando contrastan los valores recomendados en los estudios geotécnicos con lo reflejado en el Proyecto.

Por otro lado, parece que esta necesidad de datos concretos del proyecto no concuerda con el punto 5 del epígrafe 3.1 en el que se expone que el estudio geotécnico se debe acometer antes de que la estructura esté totalmente dimensionada.

Es evidente que ambos supuestos se pueden cumplir si el geotécnico y el proyectista son la misma persona, como parece indicar el punto 6 en su primera alternativa de autoría del estudio. Sin embargo, hoy en día, en la práctica este hecho ocurre en contadas ocasiones y son dos técnicos diferentes los que realizan los cálculos geotécnicos y los cálculos estructurales. Por tanto, para que se pueda armonizar la geotecnia con la estructura es necesario que ambos calculistas, el geotécnico y el estructuralista, trabajen en estrecha conexión en el diseño y dimensionamiento de los elementos estructurales de cimentación y contención.

### **3.4 Confirmación del estudio geotécnico antes de la ejecución**

- 1 Una vez iniciada la obra e iniciadas las excavaciones, a la vista del terreno excavado y para la situación precisa de los elementos de la cimentación, el Director de Obra apreciará la validez y suficiencia de los datos aportados por el estudio geotécnico, adoptando en casos de discrepancia las medidas oportunas para la adecuación de la cimentación y del resto de la estructura a las características geotécnicas del terreno.

A este respecto, es importante que en el Estudio Geotécnico se deje claro cuales de las premisas establecidas referentes tanto a los datos geotécnicos como a los estructurales son conocidas realmente y cuales son supuestas. A partir de esta distinción se deben establecer las labores complementarias que se juzguen pertinentes bien para ampliar la investigación, bien para confirmar las recomendaciones constructivas de las distintas unidades de obra que se incluyan en el estudio geotécnico.

## Estudio Geotécnico para la cimentación de los nuevos juzgados de Las Palmas de Gran Canaria

José Miguel Medina Pérez

Esocan, S.L. E-mail: jmmedina@esocansl.com

### INTRODUCCIÓN

La Nueva Sede de los Órganos Judiciales de Las Palmas de Gran Canaria se ubicará en una parcela de 13500 m<sup>2</sup> situada la calle Málaga del Polígono de San Cristóbal (Figura 1).

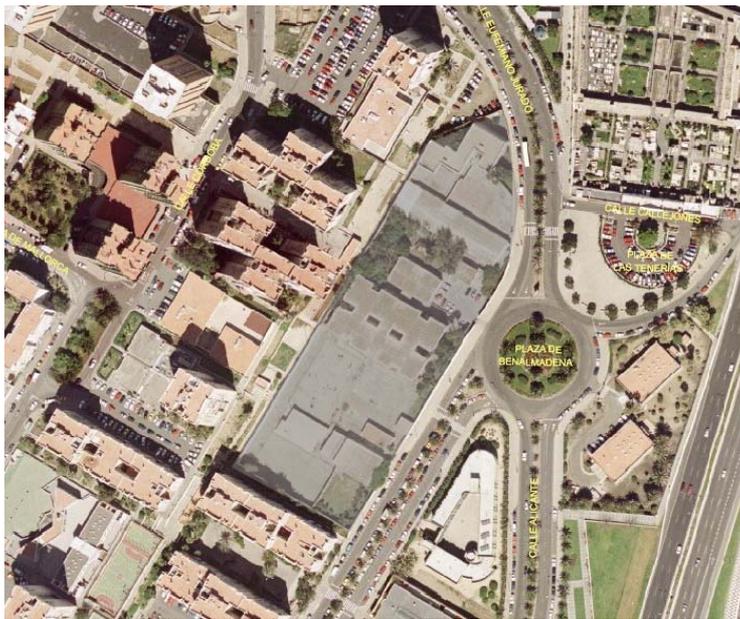


Figura 1: Situación parcela

La edificación a realizar está constituida por cuatro edificios de 12, 7, 10 y 9 plantas, respectivamente y dos sótanos comunes a todos los edificios, por lo

que la parcela ha de ser excavada prácticamente en su totalidad hasta aproximadamente la cota -8,00 m respecto a la calle, (Figura 2).

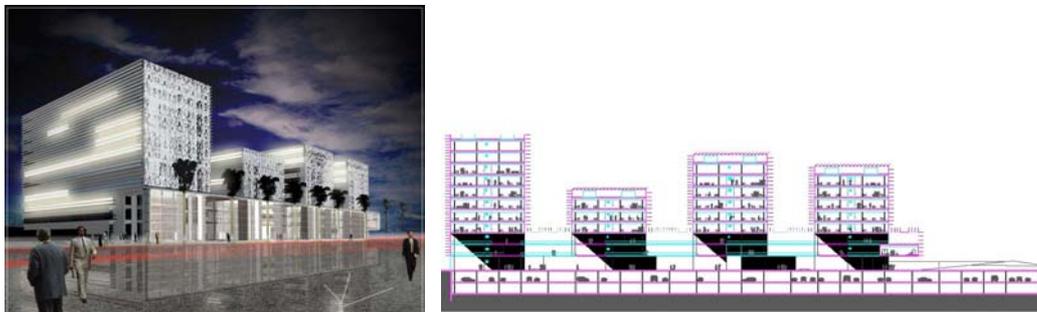


Figura 2: Infografía y sección de la edificación cortesía de Nred Arquitectos

Con el estudio geotécnico pretendemos conocer con la mayor exactitud posible el terreno sobre el que se asentará la edificación y si la cimentación proyectada se adecua a las características del terreno.

## 1. MARCO GEOLÓGICO

La zona de estudio se sitúa en la Hoja 1101-I-II Las Palmas de Gran Canaria del Mapa geológico escala 1:25.000 del Instituto Geológico y Minero de España. En los sondeos de reconocimiento realizados se han detectado materiales de la formación fonolítica del Ciclo I de Gran Canaria, en concreto Ignimbritas soldadas, ignimbritas de tipo “ash and pumice” y el Miembro Inferior de la Formación Detrítica de Las Palmas (FDP).

Los depósitos ignimbríticos soldados afloran normalmente en zonas deprimidas donde la erosión ha dejado al descubierto el sustrato fonolítico, aunque también los podemos encontrar en los acantilados costeros. Todos los afloramientos presentan características petrológicas y estructurales semejantes, variando de unos a otros solamente la proporción de líticos o de fragmentos juveniles, Su color suele ser gris-verdoso azulado aunque a veces tienen tonos rojizos-anaranjados debido a la oxidación producida por una colada superior. La selección del depósito es normalmente muy pobre, siendo

sus componentes de distinta naturaleza: pómez juveniles y líticos diversos dispuestos en una matriz cinerítica. La fracción de pómez es muy abundante, con tamaños variables, generalmente milimétricos, aunque a veces pueden alcanzar varios centímetros; tienen formas irregulares y a menudo están alargados formando las típicas flamas, en ocasiones de hasta 4-5 cm. La fracción de líticos varía de unos afloramientos a otros pero suele ser importante. Entre ellos destacan fragmentos de fonolitas masivas con formas angulosas o subangulosas y cristales individuales.

La posición estratigráfica los depósitos ignimbríticos de tipo "ash and pumice" sin soldar, es variable ya que aunque generalmente se sitúan debajo de los conglomerados fonolíticos de la Formación detrítica de Las Palmas, el contacto superior con los conglomerados fonolíticos generalmente es erosivo, a veces con desniveles considerables, lo que evidencia al menos localmente un paleorelieve tallado en las pumitas. Puede ocurrir, aunque no es demasiado frecuente, que directamente encima del "ash and pumice" sólo exista el delgado nivel de cantos rubefactados, separando el depósito piroclástico del miembro medio, de carácter marino, de la Formación detrítica de Las Palmas, faltando por tanto entre ambos la mayor parte de la secuencia inferior de conglomerados fonolíticos.

A nivel de afloramiento el depósito está compuesto por un porcentaje elevadísimo de fragmentos muy vesiculares de pómez, de tamaños que oscilan entre escasos milímetros y varios centímetros (10-18 cm) y generalmente no presentan soldadura (es decir, no están aplastados). Por otro lado, la fracción de componentes líticos es también considerable, siendo estos en su mayoría fonolitas masivas subangulosas de hasta 5-6 cm, aunque también son muy abundantes los cristales individuales, sobre todo feldespatos.

El miembro inferior de la Formación detrítica de Las Palmas, está constituido por un conjunto de rocas sedimentarias detríticas de naturaleza fonolítica, que en ocasiones tiene potencias superiores a los 120 m, cubre grandes áreas de la costa, aflorando prácticamente de manera continua en las partes bajas del acantilado costero y de las laderas de los barrancos más importantes. En general son conglomerados heterométricos prácticamente monométricos con cantos redondeados y subredondeados de lavas fonolíticas verdosas (tanto afaníticas como microcristalinas). El tamaño medio de los cantos es de 15-30 cm, habiendo algunos de hasta 50-60 cm. De forma sistemática, los conglomerados fonolíticos se apoyan sobre las lavas fonolíticas verdosas,

aunque, ocasionalmente lo hacen sobre coladas ignimbríticas soldadas o sobre las coladas de "ash and pumice" blancas (ignimbritas no soldadas).

## 2. TRABAJOS REALIZADOS

### 2.1. Trabajos de campo

En primer lugar, hemos procedido al reconocimiento del terreno en el que se situará la construcción y sus alrededores. En esta primera fase se han intentado detectar los elementos del entorno que pudieran influir de alguna manera en el proyecto, ver posibles influencias en los edificios próximos y reconocer patologías en la estructura atribuibles al suelo. De acuerdo con los datos del reconocimiento del terreno, de la información disponible y considerando las características del proyecto, se decide una campaña de trabajos geotécnicos orientada al reconocimiento de los diferentes niveles geológicos y geotectónicos que sirvan de apoyo a la cimentación. Pretendemos establecer la litoestratigrafía, la existencia de accidentes tectónicos en las proximidades, las características geomecánicas de los diferentes niveles, la hidrogeología y la presencia de materiales que puedan dañar la cimentación y la estructura, entre otros aspectos de importancia.

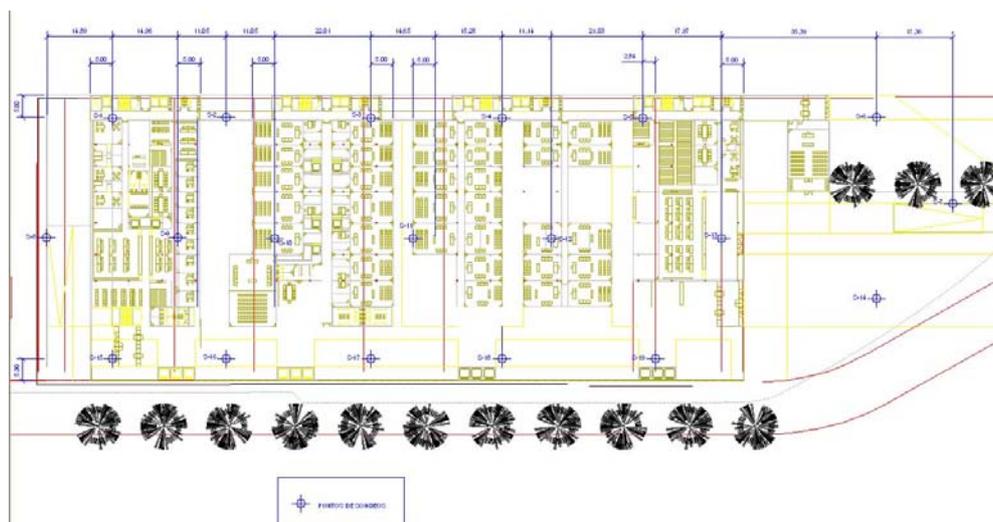


Figura 3: Distribución de los puntos de sondeo

Para ello, se definió una campaña de diecinueve sondeos mecánicos a rotación repartidos en tres alineaciones para abarcar la parcela en su totalidad (Figura 3). La profundidad de los sondeos varía de 13,00 a 20,00 m en función del terreno detectado. A lo largo de la longitud de los sondeos hemos realizado 51 ensayos de penetración estándar, SPT, para determinar la resistencia del suelo que aportan información sobre sus propiedades, consistencia (suelos cohesivos) y compacidad (suelos granulares).

En los ensayos de penetración se observó la presencia de aguas subterráneas, por lo que se instalaron tuberías piezométricas en los sondeos 1, 3, 14 y 15 para observar las posibles fluctuaciones del nivel freático.

## **2.2. Trabajos de laboratorio**

A lo largo de los sondeos se tomaron muestra para la realización de ensayos de laboratorio y poder caracterizar las diferentes unidades, en concreto se han realizado los siguientes ensayos:

- Contenido en sulfatos solubles, según Anejo 5 de la EHE
- Resistencia a compresión uniaxial, según UNE 22950
- Granulometría de suelos por tamizado, según UNE 103101.
- Límites de Atterberg: según UNE 103103 y 103104.
- Contenido en materia orgánica, según UNE 130204
- Contenido en sulfatos del agua, según Anejo 5 de la EHE

## **3. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES ENCONTRADOS**

A continuación se definen las características geotécnicas del terreno, en función de las prospecciones de campo y los ensayos de laboratorio realizados. Se han diferenciado cinco unidades geotécnicas. No hemos tenido en cuenta el relleno antrópico y la tierra vegetal presentes a techo de los sondeos.

### **3.1. Unidad I: Arenas y limos**

Unidad constituida por una mezcla de arenas finas, limos y arcillas de color marrón, y alguna grava aislada de tamaño inferior a los 4 cm. En función de los ensayos de laboratorio y según la clasificación universal de suelos clasificamos esta unidad como CL, arcillas arenosas de plasticidad baja a media

Los resultados de los ensayos S.P.T. dan valores de golpeo de 33, 31, 21, 25 y rechazo, más de 50 golpes para bajar 15 cm, si bien hay que reseñar que las presiones intersticiales que se generan en el momento del golpeo y los rozamientos parásitos afectan sustancialmente los resultados en suelos cohesivos consistencia de compacta a dura.

Potencia máxima detectada 2,80 m.

### **3.2. Unidad II: Conglomerado de gravas y bolos en matriz arenosa**

Unidad constituida por una mezcla de gravas y bolos englobados en una matriz arenosa. Bolos y las gravas presentan formas subredondeados y redondeados de naturaleza mayoritariamente fonolítica, aunque también presenta cantos basálticos y de tamaños inferiores a 15 cm. Presentan una proporción de finos inferior al 5%. Los bolos y las gravas presentan tanto costras calcáreas como óxidos producto de la meteorización sufrida.

En función de los análisis granulométricos realizados clasificamos esta unidad como GP, gravas mal graduadas, mezcla de arena y grava con pocos finos o sin ellos.

Los resultados de los ensayos S.P.T. dan rechazo, más de 50 golpes para 15 cm, hay que reseñar que los valores de los ensayos de penetración estándar se ven afectados por la presencia de bolos y gravas, lo que nos permite catalogarlo como de compacidad media a densa

Potencia máxima detectada 6,90 m

### **3.3. Unidad III: Conglomerado de gravas en matriz areno-arcillosa**

Unidad constituida por un conglomerado de gravas en matriz areno-arcillosa, con predominio de la fracción arenosa. Las gravas presentan formas subredondeadas, si bien hay una pequeña proporción con formas angulosas, al igual que ocurre con la unidad anterior presentan costras calcáreas y óxidos. Las gravas son de naturaleza fonolítica mayoritariamente, aunque en pequeñas proporciones aparecen restos de pómez y basaltos escoriáceos. En función de los análisis granulométricos y las determinaciones e los límites de Atterberg

clasificamos esta como GM-ML, gravas limosas, mezcla mal graduada de grava, arena y arcilla. Los resultados de los ensayos S.P.T. dan rechazo.

Potencia máxima detectada 7,50 m

### 3.4. Unidad IV: Ignimbritas

Ignimbritas soldadas con matriz cinerítica y abundantes líticos del 30 al 40 %, con tamaños comprendidos entre los 0,3 y 15 cm. De naturaleza fonolítica, en general presentan valores de R.Q.D (Rock Quality Designation) superiores al 40 % lo que indica que la calidad de la roca es de media. Presenta dos familias de fracturas con buzamientos comprendidos para la primera familia de 75°-80° y otra familia con buzamientos de 50°-60°, coeficiente de rugosidad (JRC) medio de 12-14 y relleno de carbonatos y óxido en algunas fracturas con espesores inferiores a 0,1 cm. Según la clasificación de campo I.R.M.S. (1981) este nivel está compuesto por una roca dura (R4)

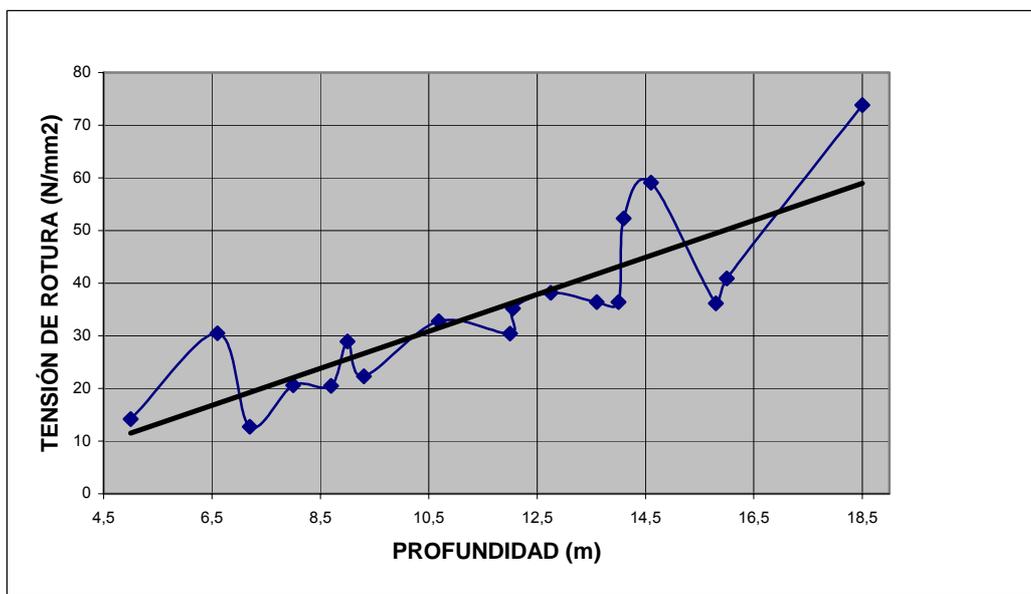


Figura 4: relación tensión rotura-profundidad

En el laboratorio se han realizado pruebas de resistencia a compresión uniaxial, dando como valor medio de resistencia 34,5 N/mm<sup>2</sup>, si bien hay que

reseñar que la resistencia del conjunto es sensiblemente inferior debido a la fracturación que presenta esta unidad.

Observamos una tendencia al aumento de la resistencia con el aumento profundidad.

### **3.5. Unidad V: Ignimbritas tipo “ash and pumice”**

Unidad constituida por una ignimbrita sin soldar del tipo “ash and pumice”. Compuesta por un 30% de pómez, un 20% de líticos y un 50% de matriz cinerítica de color marrón. El tamaño de los fragmentos de pómez es inferior a 4 cm y presentan algo de óxidos de alteración. Se ha realizado tres pruebas de resistencia a compresión simple cuyos resultados han sido 0,14, 0,10 y 1,80 N/mm<sup>2</sup>

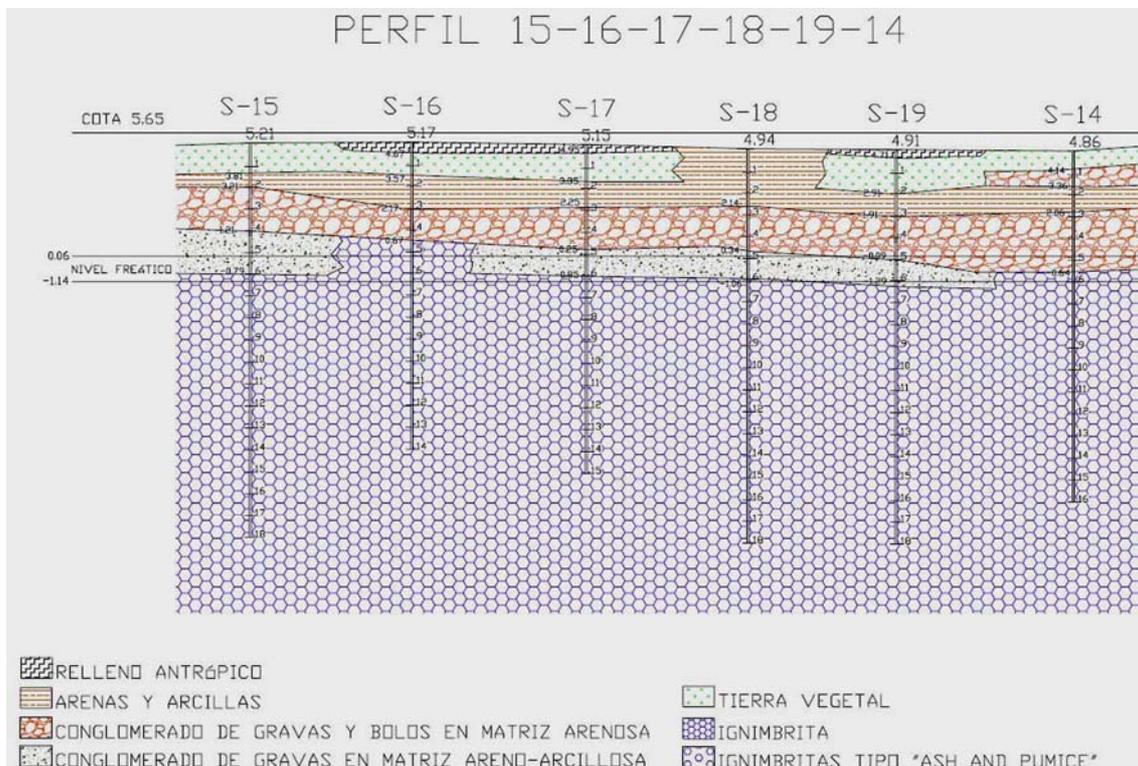
Potencia máxima detectada 10,80 m

## **4. PERFIL TIPO**

El perfil detectado en los sondeos es bastante uniforme, salvo en el sondeo situado en el límite NW de la parcela (sondeo 6) que es el único en el que hemos detectado la unidad V, “ignimbrita tipos ash and pumice” que presenta una potencia de 10,80 m. En el resto de los sondeos hemos detectado de techo a muro (Figura 5):

- Relleno antrópico y tierra vegetal
- Potencia media de 0,75 m
- Arenas y limos
- Potencia media de 1,30 m
- Conglomerado de gravas y bolos en matriz arenosa
- Potencia media de 2,50 m
- Conglomerado de gravas en matriz areno-arcillosa
- Potencia media de 2,20 m

- Ignimbrita
- Potencia media detectada de 10,00 m.



## 6. APLICACIÓN DE LA NCR-02

La Norma de Construcción Sismorresistente (NCSR-02) de 27 de septiembre de 2002 tiene como objeto proporcionar los criterios que se han de seguir para la consideración de la acción sísmica en los proyectos de construcción de obras de nueva planta.

La aceleración sísmica básica es un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno. Para el Municipio de Las Palmas de Gran Canaria es de 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad

Según la NCSR-02 si la aceleración sísmica básica es igual o mayor de 0,04 g deberá tenerse en cuenta los posibles efectos del sismo en terrenos potencialmente inestables. En los casos en los que sea de aplicación la Norma no se utilizarán estructuras de mampostería en seco, de adobe o de tapial en las edificaciones de importancia normal o especial.

## 7. CONCLUSIONES

A partir de los datos extraídos de los trabajos realizados, conociendo las características el proyecto y debido a la presencia de aguas subterráneas se optó por la ejecución de un “vaso” estanco de hormigón armado: losa de cimentación en la base y muros de hormigón en los lados.

La ejecución de la cimentación se puede realizar de dos formas:

- Realizar los dos primeros metros de excavación con un talud a 45°, habiendo previamente desviado o anulado las servidumbres que pudieran ser afectadas. A continuación se procederá a desmontar el resto del solar hasta la cota +1.20 m aproximadamente (por encima del nivel freático), para posteriormente ir vaciando por zonas para ejecutar la losa por fases atendiendo a la mayor o menor fracturación de la ignimbrita, y así poder controlar la afluencia de agua con el bombeo necesario. El perímetro se contendrá con un muro convencional de hormigón armado.
- Realizar muro pantalla hasta apoyar o intentar empotrar en la ignimbrita. y desmontar el solar por fases según la opción anterior.

Tanto se adopte una opción u otra o en su caso una mezcla de ambas, recomendamos que la zona de influencia del sondeo 6 en la que aparece la ignimbrita tipo “ash and pumice” se realice con muro pantalla al considerar que pueda ser inestable y aumentar el riesgo de desprendimiento la presencia de agua.

## **Estudio del riesgo de desprendimientos y soluciones constructivas en el Complejo de apartamentos de Los Teques, Puerto Rico, T.M. de Mogán (Gran Canaria)**

Alejandro Lomoschitz Mora-Figueroa y Antonio Cilleros Conde

Servicio de Ingeniería del Terreno – ULPGC. E-mail: [alomoschitz@dic.ulpgc.es](mailto:alomoschitz@dic.ulpgc.es)

### **INTRODUCCIÓN**

La medianoche del sábado 11 de diciembre de 2005, mientras los inquilinos dormían, cae un bloque de roca de 11,6 toneladas en la parte posterior de Los Teques, desde una altura de unos 10 m. y la vibración despierta a todos. Tras el desconcierto inicial, se avisa a las autoridades municipales y se procede a retirar la piedra con una grúa de gran tonelaje.

A la evaluación de los daños causados (hundimiento del forjado del pasillo, rotura de conducciones de agua y boquetes en las paredes de 3 habitaciones, principalmente), la propiedad se plantea la necesidad de comprobar la seguridad del talud rocoso, pues en aquellas laderas de la localidad de Puerto Rico no son infrecuentes los desprendimientos de rocas, generalmente asociados a episodios lluviosos. Estos afectan en mayor o menor medida a zonas de viviendas, haciendo que la peligrosidad sea elevada en toda el área.

Vista Noruega S. L. contacta con el Servicio de Ingeniería del Terreno de la ULPGC, que realiza un reconocimiento previo de la ladera y propone la elaboración de un estudio específico, para detectar las zonas potencialmente inestables y evitar la caída descontrolada de rocas. El estudio desembocará en un proyecto que permita aplicar las soluciones constructivas necesarias para reducir al mínimo el riesgo de desprendimientos.

Los trabajos se orientan a alcanzar 3 objetivos:

- Reconocimiento geológico del talud rocoso (105 m de largo x 30 m de alto, con una pendiente media de 35°).
- Determinar las porciones de roca que resultan inestables (a corto y/o medio plazo) así como las zonas de ladera con derrubios sueltos.
- Definir las medidas correctoras necesarias para evitar o retener los desprendimientos. Diseño de soluciones y determinación de costes.

## 1. RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DEL TALUD

### 1.1. Reconocimiento general

Los materiales rocosos que afloran son ignimbritas de la Formación Traquítico-Riolítica del Ciclo I (edad Mioceno) descrito por diferentes autores en la isla de Gran Canaria.

Puede observarse que la ladera presenta, en general, las siguientes partes (Figura 1):

- Farallón Rocosó Superior, justo por debajo de la urbanización "Corona Rosa". Se trata de materiales ignimbríticos y constituyen un resalte casi vertical de entre 3 y 5 metros de altura. En algunos tramos se encuentra bastante descalzado.
- Por debajo, existe una zona de Ladera Intermedia cuya pendiente es menor, tanto a la de la zona superior como a la de la inferior, con un valor medio de 35°, y con un desnivel de entre 10 y 15 metros.
- Farallón Rocosó Inferior a la ladera, de iguales características al superior, pendiente de 60° a 80° y desnivel entre 8 y 15 metros, de los cuales los 5 metros inferiores constituyen una pared rocosa vertical.

Además, existe un rezume de agua, desde hace unos ocho años, que se manifiesta en el Farallón Rocosó Inferior. Este aporta abundantes sales de precipitación y da un color blanco a la superficie del talud. Los análisis del agua indicaron que contiene 3450-5170 ppm de Cloruros (*NaCl*) y 1150-2160 ppm de

Sulfatos ( $\text{SO}_4\text{Ca}$ ), siendo un agua salobre, con una agresividad muy alta respecto al hormigón y al cemento.

## 1.2. Reconocimiento detallado: Mapa de Riesgo de Desprendimientos

El reconocimiento detallado del talud en toda su amplitud ( $3150 \text{ m}^2$ ) permitió localizar aquellas zonas problemáticas por su inestabilidad y evaluar el posible recorrido que tendrían las piedras en su caída y la posible afcción a las construcciones o a sus inquilinos.

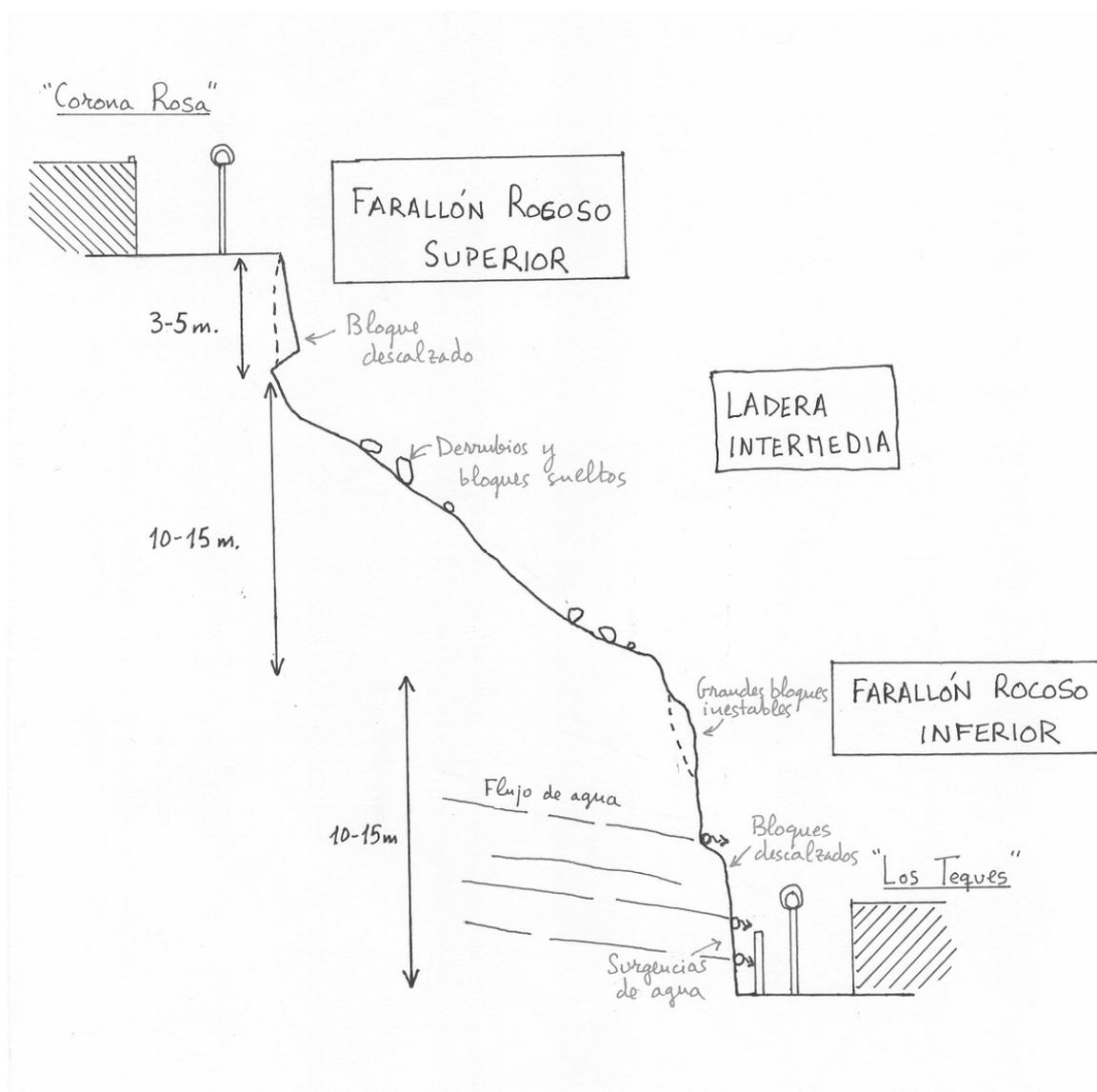


Figura 1: Sección general del talud rocoso de "Los Teques". Principales problemas de inestabilidad en las tres zonas de la ladera. Escala aproximada 1: 250 vertical y horizontal.

Se detectaron un total de 9 puntos potencialmente peligrosos y teniendo en cuenta su extensión y situación relativa, respecto a las construcciones o zonas de paso de personas, se pudo elaborar un mapa de riesgo de desprendimientos (Figura 1 y Figura 2 del Anejo).

Este tipo de mapas es especialmente adecuado para zonas amplias y su elaboración requiere una especial atención. Resultan útiles por dos razones: 1) permiten hacerse cargo de la posición topográfica, concentración y extensión de los puntos inestables; y 2) ayudan en la toma de decisiones, para concentrar el esfuerzo y los medios económicos en las zonas de mayor riesgo.

En Los Teques, como puede observarse en el mapa, había tres zonas con un nivel alto de riesgo: son las zonas c, f y h; dos zonas de riesgo medio: zonas b y d; y las tres zonas restantes presentaban riesgo bajo, es decir, las zonas a, e y g.

## **2. Zonas preferentes de actuación y soluciones constructivas**

Ante la imposibilidad material de actuar sobre toda la ladera, se han seleccionado aquellas zonas con un nivel de riesgo alto o medio, en las que las actuaciones propuestas tienden a reducir dicho riesgo con el fin de rebajarla a un nivel bajo.

Se resumen a continuación las soluciones constructivas adoptadas (Figura 3 del Anejo):

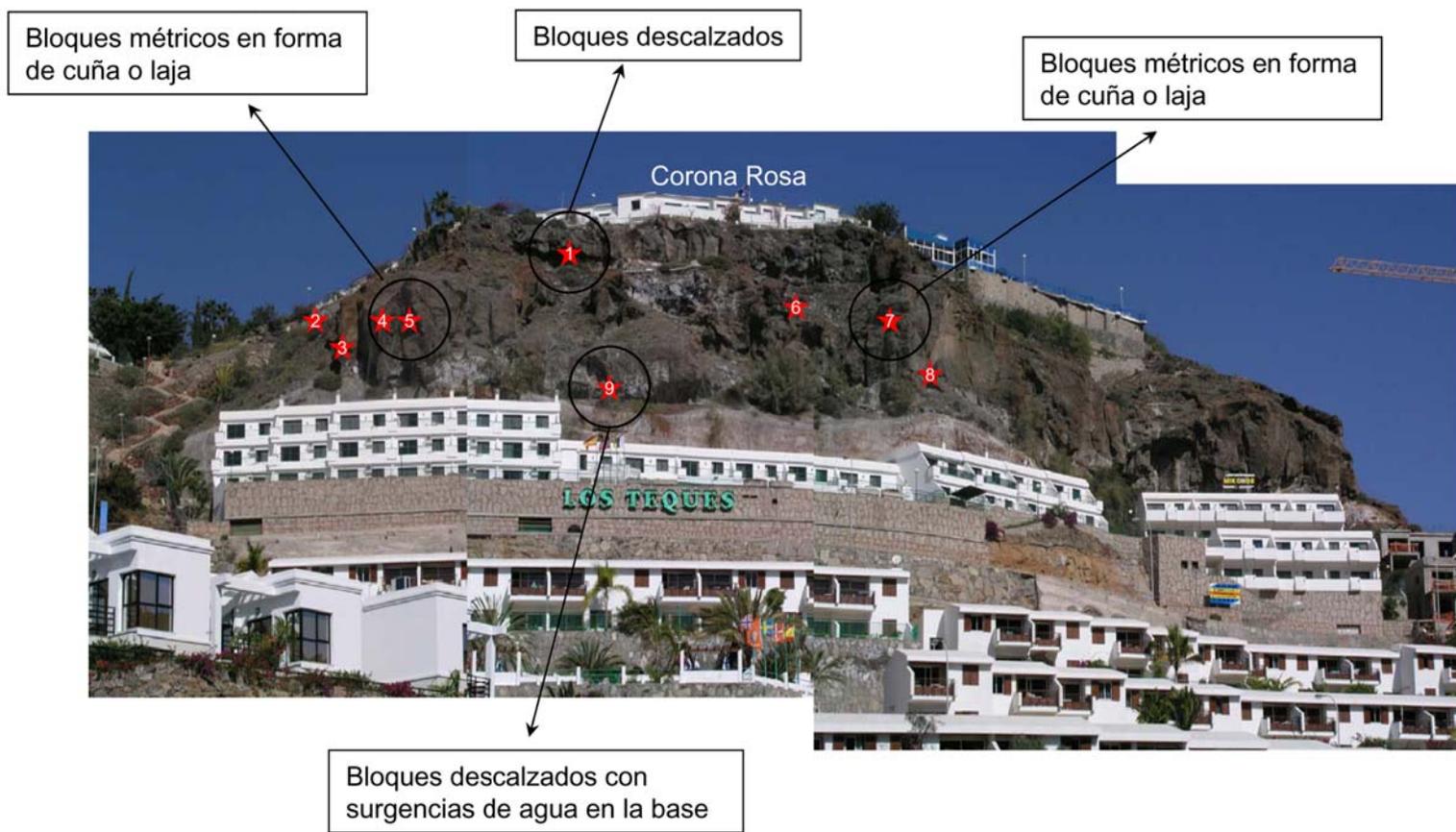
- Soporte de columnas de roca en la zona f, mediante muros de apeo.
- Drenaje de las zonas f, g y h mediante drenes californianos dispuestos en 2 filas.
- Sujeción de bloques de roca mediante red de cables (5 zonas).
- Sujeción de columnas de rocas mediante fajas de cables (3 zonas).
- Vallas estáticas de retención en la zona d.
- Malla de triple torsión en la zona h.
- Limpieza superficial de piedras sueltas, concentradas en las vaguadas de la zona d.
- Líneas de vida para control y mantenimiento periódico.

### **3. Gestión y control de los trabajos de estabilización**

La Propiedad también encomendó la Asistencia Técnica de la obra al Servicio de Ingeniería del Terreno – ULPGC. Consistió en la presentación del Proyecto Constructivo, la Solicitud de Ofertas a diferentes empresas instaladoras y el Control de los plazos y de los costes, así como del seguimiento de la obra y de la comprobación de la obra acabada.

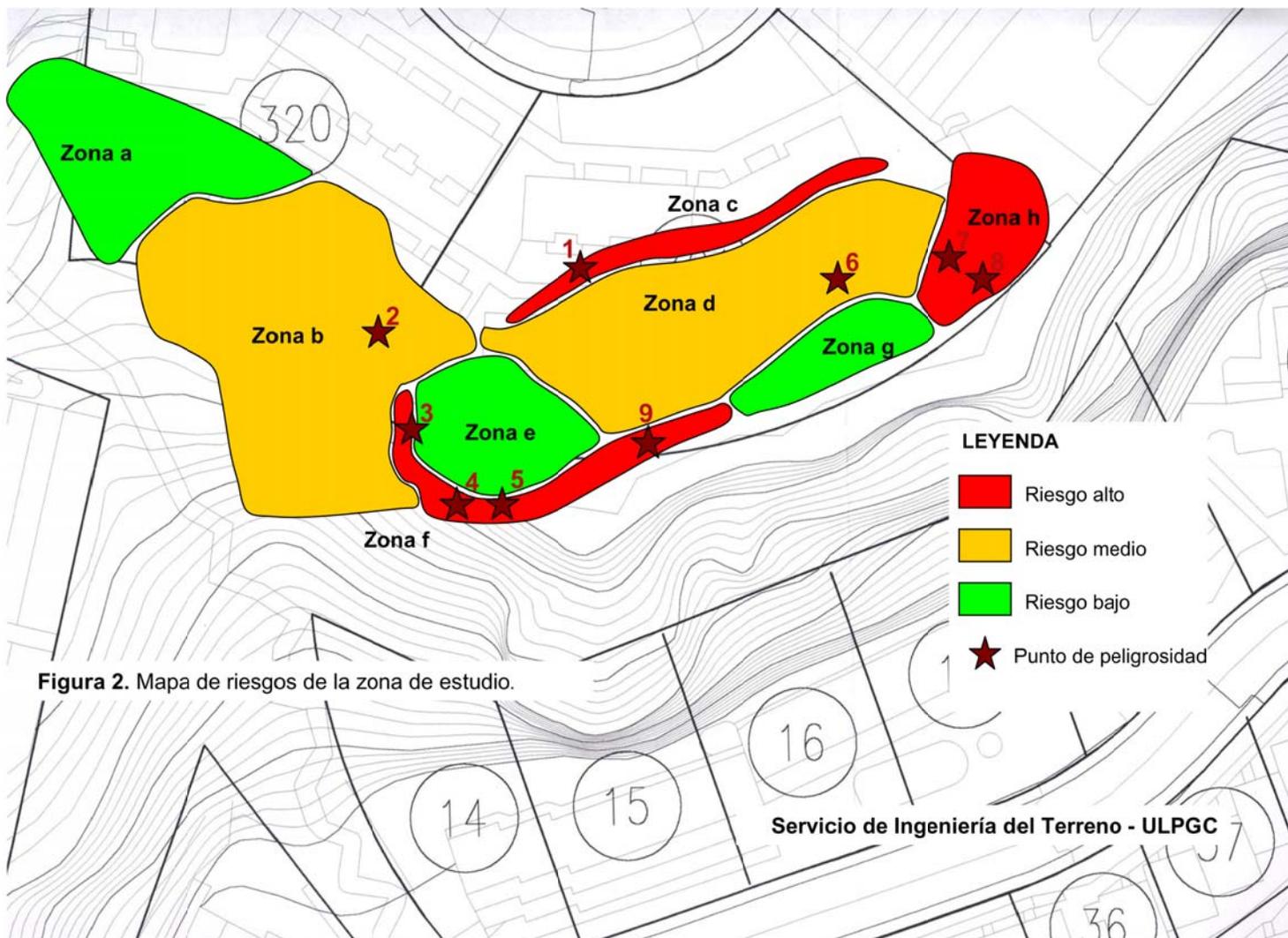
## **ANEJOS**

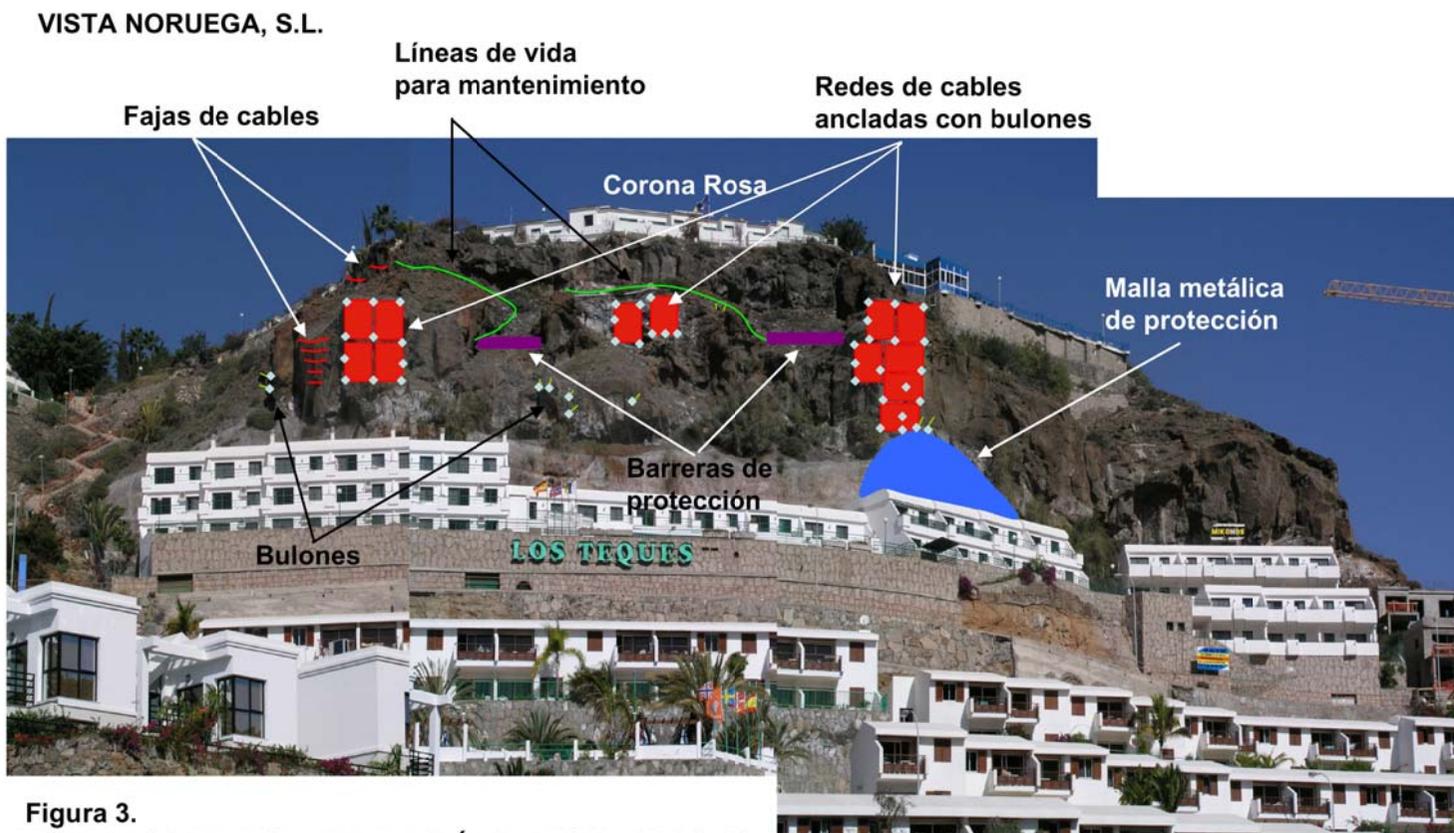
1. Principales puntos problemáticos
2. Mapa de Riesgo de Desprendimientos
3. Trabajos de estabilización ejecutados



**Figura 1.** Situación de los puntos problemáticos identificados, así como de los principales problemas de estabilidad.

Servicio de Ingeniería del Terreno - ULPGC





**Figura 3.**  
TRABAJOS DE ESTABILIZACIÓN EJECUTADOS (\*)

(\*) A estos se suman los trabajos de limpieza de piedras sueltas y su retirada (27/09/05).

Servicio de Ingeniería del Terreno - ULPGC

## **Evolución reciente de la Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas**

Luis Hernández Calvento

Departamento de Geografía Física, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. E-mail: lhernandez@dgeo.ulpgc.es

### **INTRODUCCIÓN**

La Reserva Natural Especial de las Dunas de Maspalomas se localiza en el vértice sur de la isla de Gran Canaria (Figura 1). Se corresponde con una plataforma deltaica de unos 4 km<sup>2</sup>, con forma pentagonal, conformada en la desembocadura del barranco de Fataga. En este reducido espacio se protege un complejo sistema caracterizado por la presencia de un campo de dunas de origen eólico-marino (ITGE, 1990), una playa continua adyacente, una pequeña laguna litoral (la charca o charco de Maspalomas) y un palmeral.

En la actualidad este espacio se encuentra delimitado espacialmente por la presencia de elementos naturales y humanos claramente definidos: al este y al sur, el mar representa el único elemento natural, y forma parte activa de este sistema, al condicionar en buena medida la dinámica sedimentaria. En el margen occidental se sitúa la desembocadura del barranco de Fataga (que recibe, en este último tramo, el nombre de “barranco de Maspalomas”), y que fue encauzado durante el desarrollo de las primeras urbanizaciones turísticas, en los años sesenta del pasado siglo, con el fin de ganar superficie útil a la edificación y evitar inundaciones. En su contacto con el mar, aparece la charca de Maspalomas, el pequeño *lagoon* rodeado de hoteles y complejos de apartamentos, algunos de los cuáles ocupan un antiguo humedal, conocido en otro tiempo como El Oasis. Por último, al norte, este sistema se encuentra delimitado por la presencia de un campo de golf y, adentrándose en las arenas,

en forma de cuña, la terraza sedimentaria de El Inglés, sobre la que se ha desarrollado el proyecto urbano-turístico con mayor densidad de la isla.



Figura 1: Localización y vista general de la Reserva

Desde el punto de vista climático se trata de un ámbito de gran sequedad, al estar alejado de la influencia directa de los vientos alisios y del manto de estratocúmulos que éstos transportan. Así, el estancamiento de esa masa nubosa en la vertiente norte de la isla, determina en Maspalomas un elevado número de horas de sol (presenta una media de 259 días despejados al año), y también elevadas y constantes temperaturas anuales (la temperatura media anual en Maspalomas es de 23,5°C, oscilando las máximas absolutas entre los 18°C y 24°C durante el invierno y los 30°C y 44°C en el verano). Por otro lado, la cercanía al mar determina altas tasas de humedad, que oscilan entre 71% y 75%, dependiendo del tipo de viento dominante (Nadal y Guitián, 1983; Naranjo, 1999).

La precipitación media es inferior a los 100 mm anuales, y se caracteriza por la existencia de un gran número de años secos, sólo interrumpidos por unos pocos años con lluvias torrenciales. Además, las precipitaciones suelen

concentrarse en cortos períodos (entre 10 y 15 días al año) durante los meses de febrero y noviembre, siendo los meses de verano los más secos (Marzol, 1987).

El viento en Maspalomas presenta tres variaciones estacionales y diarias importantes (Hernández, 2002): 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 desde finales de otoño hasta principios de la primavera se produce el dominio de los vientos de componente NE, 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). Las mayores velocidades se registran cuando el viento sopla desde el NE, lo que implica que el transporte más efectivo de los sedimentos de origen eólico-marino se produzca en la dirección NE-SO.

De igual forma se detecta esta dirección de transporte efectivo al analizar los datos horarios de viento, de los que se desprende la existencia de una variación diaria: de forma habitual, desde las últimas horas de la tarde, y hasta media mañana, el viento procede del SO, presenta una velocidad baja (con una media de 10 km/h), y escasas variaciones; sin embargo, entre las 9 y las 10 de la mañana se produce un cambio significativo en el origen del flujo eólico, que pasa al NE, al tiempo que se experimenta un aumento de la velocidad, que alcanza su punto máximo entre las 2 y las 3 de la tarde (con una media de 20 km/h). Conforme avanza el día la velocidad desciende paulatinamente hasta regresar a su punto de origen hacia las 11 de la noche, de nuevo con vientos procedentes del SO. La explicación a esta variación diaria del viento, y por ello del transporte sedimentario, se encuentra en el funcionamiento del alisio, que sufre variaciones relacionadas con la temperatura (Martínez, 1990; Naranjo, 1999).

## 1. MARCO GEOLÓGICO: MATERIALES, DEPÓSITOS Y FORMAS

Los materiales geológicos en este sistema responden a una historia marcada por la interacción de tres elementos: 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. De esta forma, los materiales geológicos que afloran en Maspalomas y sus alrededores 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. A pesar de en esta zona no afloran materiales ígneos del III ciclo magmático o Reciente de la isla, sí lo hacen 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 (Figura 2).

Los sedimentos que tapizan esta llanura pueden dividirse, en función de su edad relativa, entre los pleistocenos, y los holocenos y actuales. En relación con 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 (correspondiente con el “Último Interglaciario” o estadio isotópico “MIS 5e”, con una antigüedad de unos 100.000 años. 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). En la playa de Maspalomas aflora en la zona intermareal actual, entre el faro y el puesto de la Cruz Roja (aunque no aparece siempre, pues suele estar cubierto por los 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 gasterópodos del género *Strombus bubonius* (Meco, 1982), perteneciente a la denominada “fauna senegalesa”, que vive actualmente en zonas subtropicales del Golfo de Guinea, con aguas templadas. Por 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 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.*, 2002), mientras que los depósitos situados en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria permiten ubicarlo entre 10 y 12 metros. 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).

En cuanto a las terrazas, destaca, por sus dimensiones, la “Terraza Alta”, constituida por materiales aluviales de diferente granulometría, entre los que predominan 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 una rampa, 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.s.n.m. La edificación de su tramo más característico, que se adentra en forma de cuña en el campo de dunas, ha tenido serias consecuencias en la evolución geomorfológica del sistema, al inducir variaciones en la dinámica sedimentaria eólica.

Posterior a la formación de esta terraza, se produjo un encajamiento del barranco y nueva deposición de materiales aluviales detríticos, dando lugar a la denominada "Terraza Baja", que se localiza en la zona de la desembocadura del barranco de Fataga-Maspalomas. Estos afloramientos representan dos niveles antiguos del curso de dicho barranco, constituyendo terrazas aluviales de 4 a 6 m.s.n.m., la relativa al Pleistoceno Superior, localizada en el margen oriental, y de 2 m.s.n.m., la correspondiente al Holoceno, en el margen occidental (Guitián *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 Guitián, 1983).

El sector oriental, más antiguo, con una superficie de casi 2 km<sup>2</sup>, corresponde al amplio cono aluvial, con forma de planta pseudotriangular, sobre el que se ha desarrollado el campo de dunas. Su área norte ha sido ocupada por el campo de golf y la urbanización Campo Internacional. En el campo de dunas, hasta hace escaso tiempo era posible detectar sus sedimentos más recientes únicamente en algunos enclaves (coincidiendo con espacios interdunares) y en la playa de Maspalomas. Sin embargo, en la actualidad los materiales pertenecientes a esta terraza afloran progresivamente (Figura 3). Este hecho se explica por la intensificación de un proceso de deflación eólica en este ámbito, que lo ha dejado parcialmente al descubierto en tres sectores. El depósito más cercano al vértice sur de la terraza de El Inglés contacta con el cordón litoral interior Erbanense (corresponde a la trasgresión Flandriense que comenzó a los 10.000 años, o al denominado "Interglaciario Presente" o estadio isotópico "MIS 1"). En ese contacto aparecen

restos de fauna marina, cuestión que permite diferenciar este afloramiento de los otros dos, localizados a occidente, hacia la Hoya de las Fuentes.

Estos depósitos holocenos citados presentan en superficie cantos heterométricos, con una gran cantidad de grava; dominan los callaos, que muestran claros signos 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, los depósitos muestran arcillas entremezcladas con arenas. Conforme nos desplazamos hacia el oeste, los primeros sectores se configuran como amplias llanuras, en las que los materiales contactan y se confunden con depósitos de arenas carbonatadas. A la altura de la cañada de la Penca aparecen canales anastomosados, no funcionales en la actualidad, de distintas dimensiones, que alcanzan la playa de Maspalomas a la altura del puesto de la Cruz Roja, donde los sedimentos quedan expuestos. Por último, el conjunto de afloramientos ubicado hacia el oeste indica la existencia de un antiguo cauce, hoy cubierto por las arenas. Sus materiales son semejantes a los anteriores, aunque muestran, sin embargo, menor heterometría, y abundancia de fracciones más finas. Los cantos, además, no presentan claros signos de erosión eólica, cuestión que explica una menor antigüedad con respecto a los anteriores.

La disposición espacial de todos estos depósitos indica una migración hacia el oeste de la desembocadura del barranco de Maspalomas, así como la coexistencia, en algún momento, durante el Holoceno, de distintos canales funcionales.

Aflorando en el área central del campo de dunas se localizan, además, depósitos de rocas carbonatadas, algunas de las cuales han sido caracterizadas conforme a sus componentes deposicionales (Hernández, 2002;

Hernández y Mangas, 2003), y clasificadas como calcarenitas (arenitas de grano medio constituidas esencialmente por componentes carbonatados depositados mecánicamente) (Folk, 1959 y 1962).

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 calcula 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.

Las barras de guijarros están situadas a una altura de entre 3 y 5 m.s.n.m., si bien en anchura puede rebasar los 13 metros; las separaciones entre éstas pueden superar los 32 metros, al menos en afloramientos puntuales. 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).

## **2. DINÁMICA ACTUAL DE LAS ARENAS, GEOFORMAS ASOCIADAS Y EVOLUCIÓN RECIENTE**

Con respecto a la dinámica de las arenas, habría que distinguir dos ámbitos geográficos: la franja litoral y el campo de dunas. Los procesos que se dan en cada una de estas áreas incorporan elementos que permiten definirlos de

forma independiente; pero al mismo tiempo, se relacionan en un ciclo sedimentario único.

Con respecto a la franja litoral, ocupa una extensión de unos 6 km y está constituida por dos playas: la de El Inglés al este, y la de Maspalomas al sur. El ámbito de confluencia de ambas es la punta de la Bajeta (o de Maspalomas). 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 de El Inglés, corrientes y oleaje se dejan 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 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 alta de El Inglés.

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 oeste, 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 de dunas. Sin embargo, contrariamente a lo que ocurre en la playa de El Inglés, en la de Maspalomas se produce la mayor erosión marina 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 suelen aparecer acantiladas.

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. Así, una buena parte de los sedimentos erosionados en la playa de El 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 (en lo que se denomina “tiempo sur”), retira los sedimentos a la playa de Maspalomas, y los transporta a la de El Inglés, de modo que la Punta crece hacia el este (Martínez *et al.*, 1989; Alonso *et al.*, 2001a y 2001b). Este crecimiento permite la configuración de un *lagoon* estacional, que “queda atrapado” entre la orilla preexistente, y la de nueva formación (Martínez, 1990; Naranjo, 1999).

Por lo que respecta al campo de dunas, los sedimentos eólicos ocupan una cuarta parte del cono aluvial del barranco de Maspalomas. Estos arenales se pueden relacionar con otros existentes en la isla, como los ya desaparecidos de Guanarteme, en Las Palmas de Gran Canaria, o los de Bañaderos, Tufia, 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, pues, de acuerdo con su composición son arenas procedentes de basaltos alcalinos, fonolitas y carbonatos organógenos (Martínez *et al.*, 1986), predominando la fracción fonolítica-carbonatada; en cuanto a la composición de los carbonatos, éstos han sido calculados alrededor de un 50% en peso (Martínez *et al.*, 1989).

Dependiendo del ámbito geomorfológico en que se encuentren las arenas, se detectan variaciones significativas en sus componentes. Así, podemos distinguir entre los relativos a zonas de acumulación y fijación de partículas de diferente tamaño, como las llanuras salitrosas, con mayor porcentaje de componentes terrígenos; los asociados a una zona de gran energía, como la

punta de la Bajeta, con predominio de minerales densos (ferromagnesianos) y moderadamente clasificados; y los sedimentos eólicos típicos del campo de dunas, 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 (Hernández, 2002).

Las geoformas dominantes son las dunas, principalmente transversales y barjanas. La existencia de estas últimas es debida a que la alimentación se inicia, en la playa de El Inglés, con aportes reducidos, si bien la constancia de éstos produce una gran disponibilidad de arenas, formándose entonces dunas transversales (Martínez, 1986). Su avance se establece en función de los tipos de viento: los efectivos del NE (los vientos alisios) condicionan el avance de las dunas; mientras que los del O-SO, cuando toman velocidades de moderadas a fuertes, determinan retrocesos (Nadal y Guitián, 1983; Martínez, 1990), que en muchos casos son perceptibles por la inversión que manifiestan las crestas.

El avance neto de las dunas ha sido calculado entre 76 centímetros y 12 metros por año, siguiendo la dirección NE-SO (Hernández, 2002). Esta variación depende del área donde se localice el sedimento, dada la existencia de un obstáculo a barlovento del campo de dunas (la terraza de El Inglés), que funciona a modo de “trampa de sedimentos”. También induce variación en el flujo eólico (aunque en este caso se trata de un efecto de amortiguación) la amplia zona de vegetación que representa el sector intermedio del campo de dunas. Así, las tasas de movilidad 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 la primera de un área plenamente expuesta a los vientos efectivos.

El ciclo sedimentario, considerando la dinámica sedimentaria eólica, comienza en la playa de El Inglés, por donde se produce la entrada de las arenas al sistema, principalmente entre los meses de noviembre y marzo,

empujados por los vientos alisios que siguen una dirección NE-SO. Los sedimentos, una vez secados en el estrán, 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 turísticos (kioscos, hamacas y sombrillas), así como los “goros” (estructuras cortaviento) que los usuarios construyen en el sector sur de la playa de El Inglés. Estos elementos humanos también atrapan las arenas, e inducen 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 progresivo en las últimas décadas, lo cual indica un déficit de entrada de sedimentos al sistema. La confirmación a este déficit la encontramos al considerar la evolución exponencial de la distancia entre la playa alta y el primer cordón transversal (Hernández *et al.*, 2002) (ver figuras 4 y 5).

El único sector que no presenta estas formas de deflación es el situado al norte (A1). En él juega un papel determinante la terraza sedimentaria de El Inglés (B), urbanizada en su totalidad, pues supone una barrera que atrapa las arenas en aquel sector, posibilitando el desarrollo de acumulaciones eólicas que no presentan un patrón formal neto, salvo algunas dunas eco, “atrapadas” al pie del talud oriental de la terraza de El Inglés.

Conforme nos desplazamos hacia el sur, asistimos al segundo papel atribuible a esta terraza sedimentaria, en relación con la dinámica de las arenas: el giro que propicia en los vientos (efecto esquina), por lo que las geoformas eólicas, 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 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, posibilitando la aparición de otro tipo de acumulaciones: hasta hace unos años era característica la morfología de “dunas en herradura” (o de vórtice), orientadas en una dirección contraria a la de los vientos efectivos. Sin embargo, estas acumulaciones han experimentado una reducción significativa en los últimos decenios, lo que indica, igualmente, una disminución de aportes hacia las áreas interiores del sistema. Estas acumulaciones garantizaban en el pasado la alimentación de sedimentos a la unidad intermedia del campo de dunas, el sector de las Hoyas, área que también muestra claros signos de estar recibiendo un menor volumen de arenas.

En este sector de las Hoyas (C7) las arenas también son retenidas, debido a la presencia de vegetación de porte arbustivo y arbóreo, que se ha desarrollado favorecida por la exhumación de materiales aluviales con alto contenido en arcillas, y por la proximidad a la superficie del nivel freático. En esta área se localiza la llanura de deflación más amplia de todo el sistema, que también ha experimentado un crecimiento en los últimos decenios.

En el sector interior (C6) los elementos que permiten adivinar la existencia de dinámica sedimentaria eólica se reducen a rizaduras y algunos enclaves de dunas móviles, ya residuales. La presencia, no obstante, de 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 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 que presenta el mayor volumen de arena en tránsito de todo el sistema (C8). En ella las dunas se desplazan libremente, al converger los sedimentos provenientes del sector norte de la franja de El Inglés, que se dirigen hacia el SSO, con los que lo hacen desde el sector sur, con una dirección E-O. Las formas eólicas mantienen la dirección que marcan los vientos alisios, NE-SO, adentrándose en el mar por la playa de Maspalomas.

Tal y como se ha comentado con anterioridad, el retorno de los sedimentos hacia la playa de El Inglés 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 del otoño, sustrae los sedimentos de la playa de Maspalomas, por lo que las dunas aparecen acantiladas por la erosión marina.

### 3. RECORRIDO A REALIZAR DURANTE LA SALIDA DE CAMPO

El itinerario propuesto se ha estructurado en once paradas (Figura 6) que se detallan a continuación.

- **Parada 1.** Terraza de El Inglés: observación de los rasgos que caracterizan la entrada de los sedimentos al sistema.
- **Parada 2.** Centro de interpretación de la Reserva: explicación sobre el papel jugado por la terraza alta en la evolución geomorfológica reciente del sistema.
- **Parada 3.** Dunas de vórtice: explicación de la formación de las dunas de vórtice. Explicación de los procesos de exhumación de los materiales de la terraza baja.

- **Parada 4.** Calcarenitas: observación de depósito de calcarenitas.
- **Parada 5.** Terraza aluvial / paleobarras: observación del tramo oriental de la terraza aluvial en su contacto con las paleobarras.
- **Parada 6.** Llanuras interiores / terraza aluvial: observación de las llanuras interiores de Maspalomas. Explicación sobre los procesos de deflación y de la interacción entre depósitos sedimentarios, suelos y vegetación.
- **Parada 7.** Arenas carbonatadas: explicación de la evolución de la llanura de deflación, de la vegetación asociada y del afloramiento de rocas carbonatadas.
- **Parada 8.** Llanura de deflación: explicación de la evolución de la llanura de deflación, canales anastomosados y evolución reciente de la vegetación.
- **Parada 9.** Puesto de la Cruz Roja: observación de los depósitos de playa (materiales aluviales y depósitos de arenas).
- **Parada 10.** Frente de la Charca: explicación sobre la interacción entre la charca de Maspalomas, la playa y la última línea de dunas móviles.
- **Parada 11.** Observatorio de aves: explicación sobre la evolución reciente de los diversos subsistemas (barranco de Fataga-Charca de Maspalomas).

## REFERENCIAS

Alonso I, Montesdeoca I, Vivares A, Alcántara-Carrió J (2001 a). 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, 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.

Folk RL (1959). Practical petrographic classification of limestones. *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.*, 43: 1-38.

- Folk RL (1962). Spectral subdivision of limestones types. En: Ham, W. (Ed.): Classification of carbonate rocks; Am. Assoc. Petrol. Geol., Mem. 1: 62-84.
- Gutián C, Martín F. Nadal I. (1883). Formaciones sedimentarias del Cuaternario Medio al Holoceno en la isla de Gran Canaria. VIII Coloquio de Geografía, I: 239-242.
- Hernández L (2002). Análisis de la evolución del sistema de dunas de Maspalomas, Gran Canaria (1960-2000). Tesis Doctoral. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 408 pp.
- Hernández L, Mangas J (2003). Caracterización de los materiales sedimentarios aflorantes en el sistema de dunas de Maspalomas (Gran Canaria, Islas Canarias). En: Blanco-Chao, R., López-Bedoya, J. y Pérez-Alberti, A. (Ed.). Procesos geomorfológicos y evolución costera, Universidad de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela: 67-81.
- Hernández L, Alonso I, Ruiz P, Pérez-Chacón E, Suárez C, Alcántara J. (2002). Decadal environmental changes on the dune field of Maspalomas (Canary Islands): Evidences of an erosive tendency. En: Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F. y Das Neves, L. (Ed.): Littoral 2002. The Changing Coast; Euro-coast, Oporto: 519-527.
- ITGE (1990). Mapa geológico de España, 1114-III (83-86; 83-87). Maspalomas. Madrid, 93 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.
- 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, 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, 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, Cárdenes M (1989). La evolución geomorfológica de la Punta de la Bajeta, en la playa de Maspalomas (Gran Canaria). Actas IX Bienal R.S.E.H.N.: 235-243.

- Marzol M (1987). Las precipitaciones en las Islas Canarias. Secretariado de publicaciones de la Universidad de La Laguna, La Laguna, 220 pp.
- Meco J (1982). Los bivalvos fósiles de las Canarias orientales. Anuario de Estudios Atlánticos, 28: 65-125.
- Nadal I, Guitián C (1983). El sur de Gran Canaria: entre el turismo y la marginación. Cuadernos Canarios de Ciencias Sociales, nº 9, Centro de investigación económica y social de la Caja Insular de Ahorros, Madrid, 236 pp.
- Naranjo R (1999). Maspalomas espacio natural. Concejalía de Turismo del Ayuntamiento de San Bartolomé de Tirajana, 365 pp.
- Zazo C, Goy JL, Hillaire-Marcel C, Gillot PY, Soler V, Gonzalez JA, Dabrio C, Ghaleb B (2002). 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, 21 (18-19): 2019-2046.

## **ANEJO GRÁFICO**

Figura 2. Marco geológico-geomorfológico (ITGE, 1990; Naranjo, 1999)

Figura 3. Materiales localizados en el campo de dunas de Maspalomas

Figura 4. Geomorfología eólica a principios de los años sesenta

Figura 5. Geomorfología eólica en el año 2000

Figura 6. Recorrido a realizar durante la salida de campo



Figura 2: Marco geológico-geomorfológico (ITGE, 1990; Naranjo, 1999)

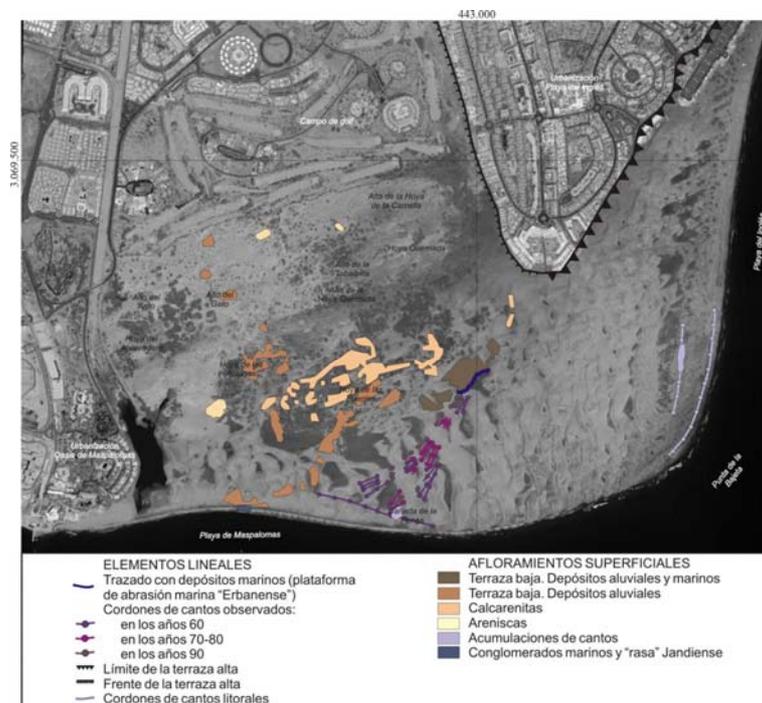


Figura 3: Materiales localizados en el campo de dunas de Maspalomas

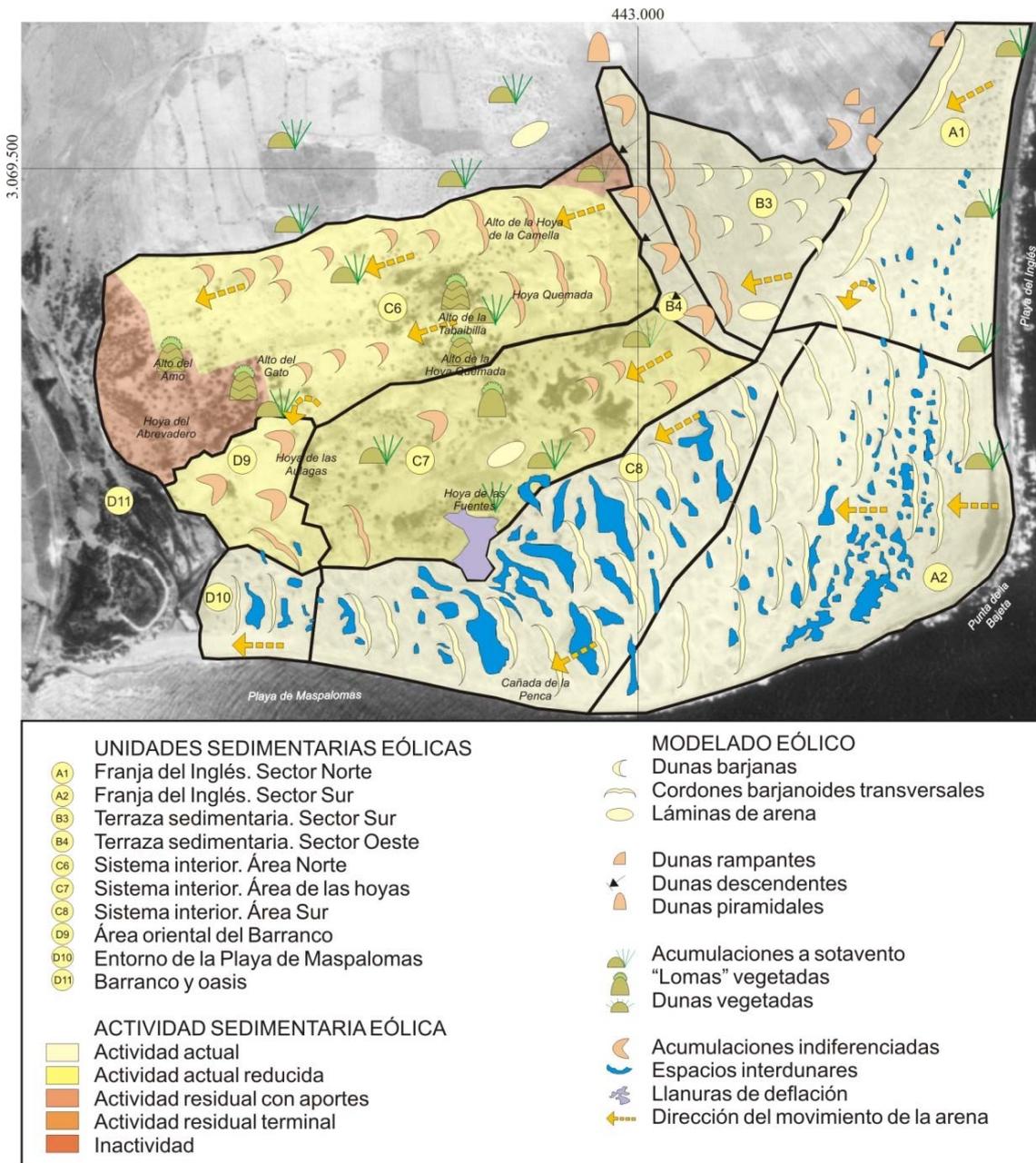


Figura 4: Geomorfología eólica a principios de los años sesenta

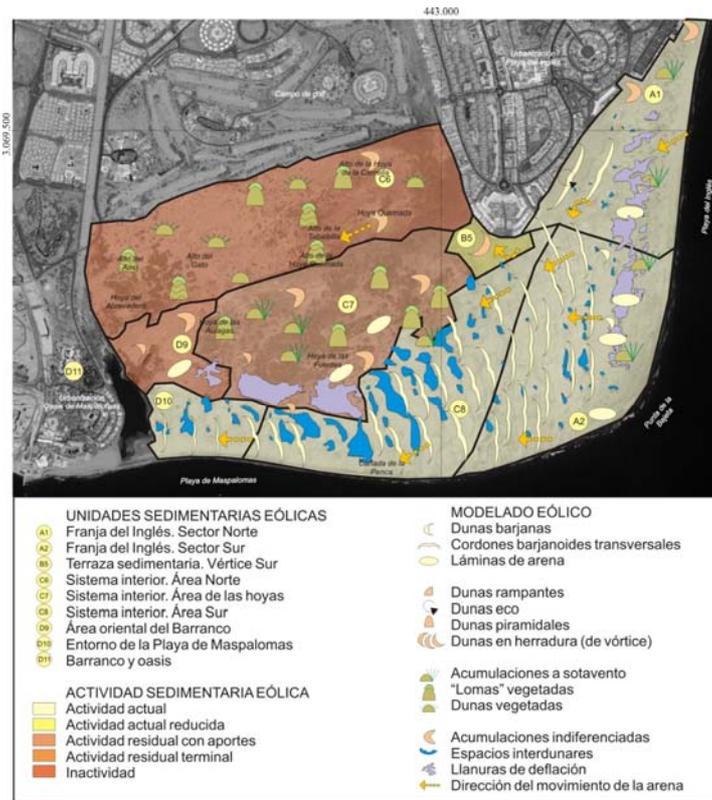


Figura 5: Geomorfología eólica en el año 2000

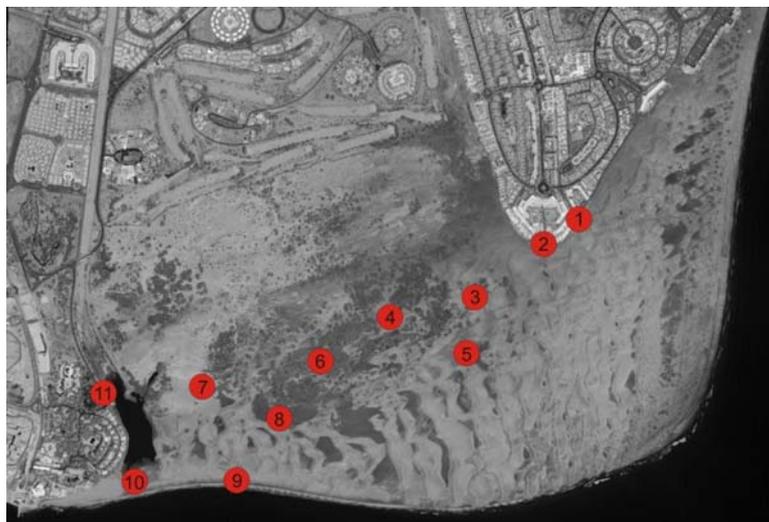


Figura 6: Recorrido a realizar durante la salida de campo