



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

# boletín geológico y minero

VOLUMEN 109

Marzo - Abril 1998

NUMERO 2



REVISTA BIMESTRAL DEL ITGE FUNDADA EN 1874

ISSN 0366 - 0176





Volumen 109

Número 2

Marzo-Abril 1998

# boletín geológico y minero

17 MAR 1999



revista bimestral de geología, minería y ciencias conexas fundada en 1874 - 5.ª serie

## Sumario

<b>Geología</b>	J. ESCUDER VIRUETE: Aportaciones al conocimiento de la evolución geomorfológica del área de Castelseras (Sector meridional de la depresión del Ebro). . . . .	3
	E. BARRON: Presencia del género <i>Quercus</i> Linne (Magnoliophyta) en el Vallesense (Neógeno) de la Cerdaña (Lérida, España). . . . .	17
<b>Aguas Subterráneas</b>	A. MAZOUZI, S. DAHBI, J. TRILLA y J. ESTALRICH: Gestión de las aguas superficiales del sistema del Alto Sebu (Marruecos). . . . .	47
<b>Ingeniería Geoambiental</b>	L. ALCALA DEL OLMO BOBADILLA, T. OLMOS PALOMERO y MARTIN FERRERO: Evaluación de la capacidad de uso agrícola y forestal del suelo mediante un sistema de información geográfica en el sector Torrelaguna-La Cabrera (Madrid). . . . .	57
	A. NAVARRO FLORES, D. COLLADO FERNANDEZ y J. A. SANCHEZ GARRIDO: Caracterización de la contaminación producida por actividades mineras en los suelos de la cuenca baja del río Almanzora. . . . .	69
<b>Información</b>	L. F. MAZADIEGO y O. PUCHE RIART: Apuntes sobre la mitología minera en la América andina. . . . .	89
	L. F. MAZADIEGO MARTINEZ, O. PUCHE RIART, J. F. LLAMAS BORRAJO y A. SANZ GONZALEZ: Los productos petrolíferos en Hispanoamérica: Noticias anteriores al siglo XIX. . . . .	95

**DIRECCION Y ADMINISTRACION**  
Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid  
Fax (91) 349 57 62



Ministerio de Medio Ambiente

El Instituto Tecnológico Geominero de España hace presente que las opiniones y hechos consignados en sus publicaciones son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los trabajos.

Los derechos de propiedad de los trabajos publicados en esta obra fueron cedidos por los autores al Instituto Tecnológico Geominero de España.  
Queda hecho el depósito que marca la Ley.

PORTADA:

**Diapiro salino de Poza de la Sal (Burgos).**

Explotado desde época romana ininterrumpidamente hasta los años 60, es un punto de interés Geológico y Minero a preservar.

Foto: F. J. Ayala-Carcedo.

Depósito legal: M. 3.279 - 1958  
ISSN 0366-0176  
NIPO 320-98-001-8

Gráficas Chile, S.A.L. - Chile, 27 - Teléf./Fax 91 359 57 55 - 28016-MADRID

## APORTACIONES AL CONOCIMIENTO DE LA EVOLUCION GEOMORFOLOGICA DEL AREA DE CASTELSERAS (SECTOR MERIDIONAL DE LA DEPRESION DEL EBRO).

Por J. ESCUDER VIRUETE (\*)(\*\*)

### R E S U M E N

La evolución geomorfológica del área de Castelserás se inicia con la elaboración de la penillanura fundamental a comienzos del Plioceno superior. La deformación posterior de la penillanura como consecuencia de la reciente tectónica extensional, origina la exhumación de los relieves estructurales de la Sierra de la Ginebrosa y el establecimiento de una superficie de piedemonte pliocuaternaria. A medida que progresa la incisión de la red fluvial cuaternaria se generan en el Pleistoceno inferior los niveles de glaciares superiores, cuyos depósitos se relacionan con la parte media-distal de extensos abanicos aluviales. En el Pleistoceno medio y superior la red fluvial experimenta una progresiva mayor jerarquización, localizándose finalmente en los actuales valles fluviales el sistema de terrazas escalonadas inferiores.

Como es característico de climas semiáridos, los aportes detríticos de los ríos Guadalupe y Mezquín tienen lugar preferentemente en las épocas de avenida. Su dinámica actual se ha visto afectada por su regulación antrópica aguas arriba y los usos esencialmente agrícolas de sus márgenes, lo que origina el progresivo encajamiento de los cauces como principal proceso actual.

*Palabras clave:* Geomorfología, Proceso fluvial, Dinámica actual, Depresión del Ebro (España).

### A B S T R A C T

The geomorphological evolution of Castelserás area is initiated in the early upper Pliocene with the elaboration of the penillanura fundamental. The subsequent deformation of the penillanura as consequence of the recent extensional tectonics, cause the exhumation of the structural reliefs of the Sierra de la Ginebrosa and the establishment of a pliocuaternary piedemonte surface. With the cutting progress of quaternary fluvial net, in the lower Pleistocene the upper glaciares is generated, whose deposits are related with mid-distal parts of broad alluvial fans. In the middle and upper Pleistocene, the fluvial net is hierarchized more progressively with location of the lower terraces system in the actual fluvial valleys.

As is characteristic in semiarid climates, Guadalupe and Mezquin rivers give rise to preferential terrigenous amount in the flood periods. Their actual dynamics has been affected by the anthropic regulation upstream and the agricultural uses of their margins, which cause a progressive incision of the channels as main actual process.

*Key words:* Geomorphology, Fluvial process, Actual dynamic, Ebro basin.

### 1. INTRODUCCION

El presente estudio surge de la necesidad de un detallado conocimiento geomorfológico del área de Castelserás, como base a un posterior estudio ambiental y arqueológico. Para ello, el Taller de Arqueología de Alcañiz (Teruel), ha emprendido

un estudio integrado multidisciplinar cuyas principales aportaciones en el plano geomorfológico están incluidas en el presente trabajo.

La Depresión del Ebro constituye una amplia depresión morfológica de contornos subtriangulares, localizada en el sector NE de la Península Ibérica y rodeada por tres cadenas montañosas: los Pirineos, la Cadena Ibérica y la Cadena Costero Catalana (ALBERTO et al., 1984; GUTIERREZ ELORZA y PEÑA, 1989). El área de

(\*) T. Arqueología. C. Blasco-3. 44600 Alcañiz (Teruel).  
(\*\*) Dirección actual: Dpto. Petrología y Geoquímica, Universidad Complutense. 28040 Madrid.

Castelserás se sitúa en su borde meridional, adosada a la zona de enlace entre las Cadenas Ibérica y Costero Catalana. Gran parte de dicha Depresión está ocupada por el sistema de drenaje del río Ebro, cuyos principales tributarios en el área de Castelserás son el río Guadalupe y el Mezquín, este último de menor orden, que fluyen desde los sectores internos de la zona de enlace hacia el N.

Morfológicamente, el área de Castelserás presenta un límite meridional muy bien definido por el resalte topográfico que supone la Sierra de la Ginebrosa (Fig. 1). Desde esta sierra, de orientación ONO-ESE y posición marginal en la zona de enlace Catalánides-Ibérica, se transita hacia el norte mediante un conjunto de extensos piedemontes que conectan con el sector bajoaragonés de la Depresión del Ebro (IBÁÑEZ, 1976). Sobre estos grandes piedemontes aparece encajada la red fluvial formando los amplios valles del río Guadalupe y del Mezquín. El área estudiada pertenece administrativamente a la provincia de Teruel y está cartográficamente representada en la Hoja 495 (Castelserás) del M.T.N., a escala

1:50.000, siendo Calanda y Alcañiz, ésta última como capital comarcal, las principales localidades más próximas.

**2. SITUACION GEOLOGICA**

Durante la Orogenia Alpina y fundamentalmente en el Paleógeno, el área ocupada por la actual Depresión del Ebro constituyó la cuenca de antepaís de las tres cadenas montañosas anteriormente reseñadas que la rodean. A diferencia del gran cinturón de cabalgamientos alpinos formados en los Pirineos, la Cadena Ibérica fue una cadena intracontinental de dirección NO-SE estructurada mediante un conjunto de pliegues y cabalgamientos más modestos. La otra unidad estructural que limita al E la Depresión del Ebro es la Cadena Costero Catalana, que fue generada como consecuencia de la reactivación de un sistema "en-écheon" de fallas de basamento NNE-SSO, bajo un régimen transpresivo senestro (GUIMERA, 1984).

Las relaciones estructurales entre la Cadena

Ibérica y la Costero Catalana, se establecen en la denominada zona de enlace (SIMON, 1982; GUIMERA, 1984), donde un haz de pliegues y cabalgamientos de dirección ONO-ESE a O-E resuelve un importante desplazamiento hacia el N de la cobertera mesozoica, despegada del basamento hercínico a través de un nivel evaporítico del Triás superior. La actividad tectónica registrada en dicha zona de enlace controla la sedimentación molásica en este sector de la cuenca de antepaís y la distribución de facies general, a lo largo del Paleoceno-Mioceno (CABRERA et al., 1985; ANADON et al., 1986).

Desde el comienzo del Oligoceno y hasta el Mioceno medio la cuenca adquiere un carácter endorréico que da lugar a la formación de grandes sistemas deposicionales aluviales-fluviales. En el área de Castelserás, el sistema deposicional aluvial-fluvial del Guadalupe-Matarrana (ANADON et al., 1981), distribuyó una gran cantidad de terrígenos desde el margen activo ibérico y hacia el interior de la cuenca, originando un tránsito gradual desde las facies conglomeráticas proximales de los abanicos aluviales meridionales, a

diversas facies fluviales y más al N, hacia el centro de la cuenca, a grandes llanuras lutíticas con zonas endorréicas lacustres someras (QUIRANTES, 1979; CABRERA, 1983; CABRERA et al., 1985) (Fig. 2). La evolución sedimentaria del sistema del Guadalupe-Matarrana tiene lugar bajo condiciones climáticas locales áridas, como atestiguan los restos de microfósiles y el tipo de asociación polínica encontrada (CABRERA, 1983). En el Mioceno Superior, el drenaje del Ebro conecta con el mar Mediterráneo (RIBA et al., 1983), cesando desde este momento el acúmulo de sedimentos en la cuenca e iniciándose un estadio erosivo que continúa hasta la actualidad.

**4. GEOMORFOLOGIA**

La principal característica geomorfológica del área de Castelserás es que en ella tiene lugar la transición entre la gran unidad morfoestructural de la Cadena Ibérica y el sector bajoaragonés de la Depresión del Ebro (IBÁÑEZ, 1976; PEÑA et al., 1984). Dicho tránsito se establece en la vertiente septentrional de la Sierra de la Ginebrosa, la cual

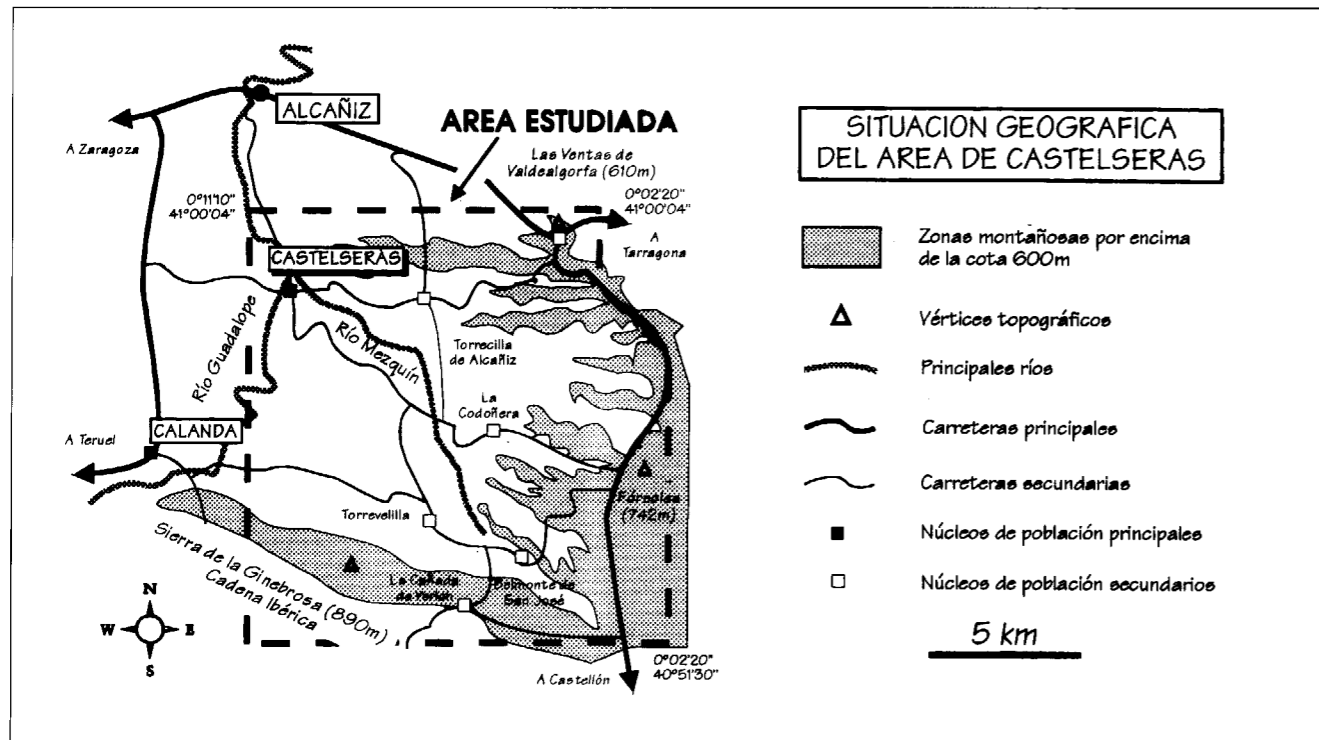


Fig. 1. Esquema de la situación geográfica del área estudiada.

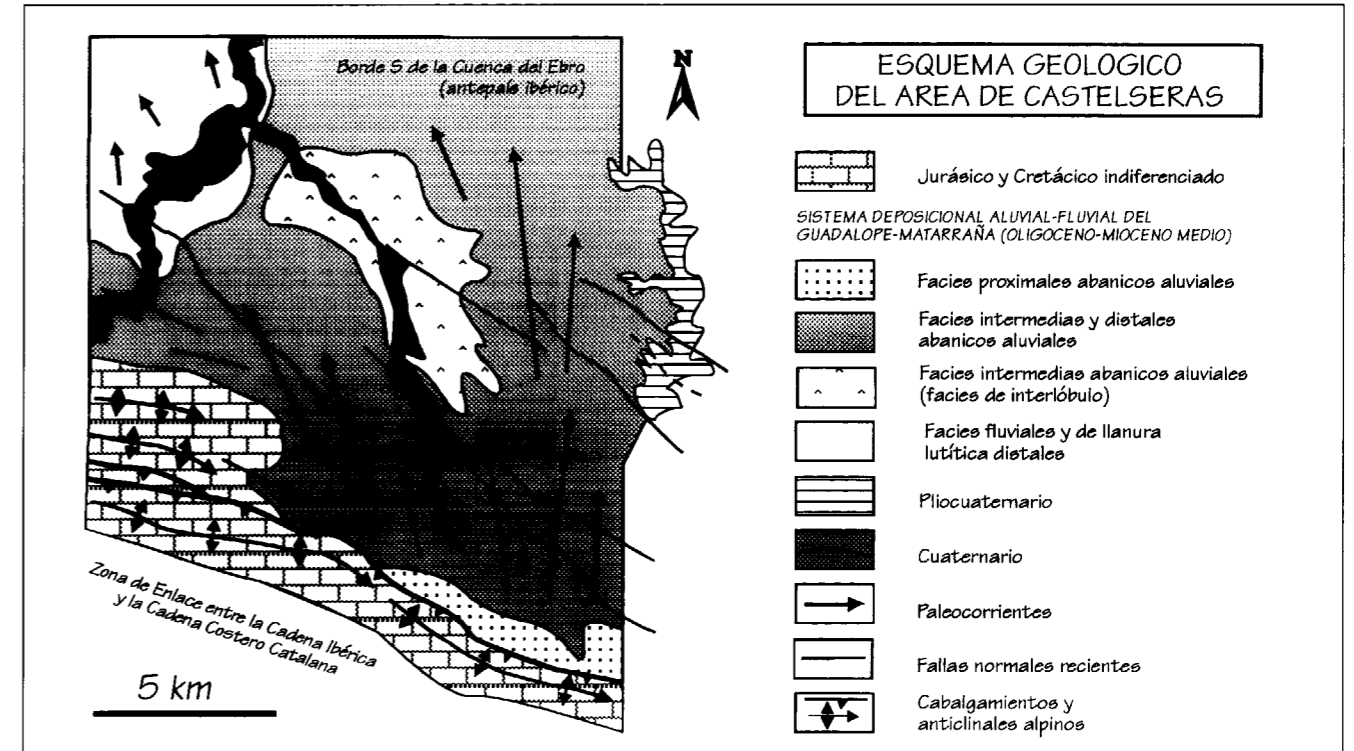


Fig. 2. Esquema Geológico del área de Castelserás.



Ibérica y la Costero Catalana, se establecen en la denominada zona de enlace (SIMON, 1982; GUIMERA, 1984), donde un haz de pliegues y cabalgamientos de dirección ONO-ESE a O-E resuelve un importante desplazamiento hacia el N de la cobertera mesozoica, despegada del basamento hercínico a través de un nivel evaporítico del Trías superior. La actividad tectónica registrada en dicha zona de enlace controla la sedimentación molásica en este sector de la cuenca de antepaís y la distribución de facies general, a lo largo del Paleoceno-Mioceno (CABRERA et al., 1985; ANADON et al., 1986).

Desde el comienzo del Oligoceno y hasta el Mioceno medio la cuenca adquiere un carácter endorréico que da lugar a la formación de grandes sistemas deposicionales aluviales-fluviales. En el área de Castelserás, el sistema deposicional aluvial-fluvial del Guadalope-Matarrana (ANADON et al., 1981), distribuyó una gran cantidad de terrígenos desde el margen activo ibérico y hacia el interior de la cuenca, originando un tránsito gradual desde las facies conglomeráticas proximales de los abanicos aluviales meridionales, a

diversas facies fluviales y más al N, hacia el centro de la cuenca, a grandes llanuras lutíticas con zonas endorréicas lacustres someras (QUIRANTES, 1979; CABRERA, 1983; CABRERA et al., 1985) (Fig. 2). La evolución sedimentaria del sistema del Guadalope-Matarrana tiene lugar bajo condiciones climáticas locales áridas, como atestiguan los restos de microfósiles y el tipo de asociación polínica encontrada (CABRERA, 1983). En el Mioceno Superior, el drenaje del Ebro conecta con el mar Mediterráneo (RIBA et al., 1983), cesando desde este momento el acúmulo de sedimentos en la cuenca e iniciándose un estadio erosivo que continúa hasta la actualidad.

4. GEOMORFOLOGIA

La principal característica geomorfológica del área de Castelserás es que en ella tiene lugar la transición entre la gran unidad morfoestructural de la Cadena Ibérica y el sector bajoaragonés de la Depresión del Ebro (IBÁÑEZ, 1976; PEÑA et al., 1984). Dicho tránsito se establece en la vertiente septentrional de la Sierra de la Ginebrosa, la cual

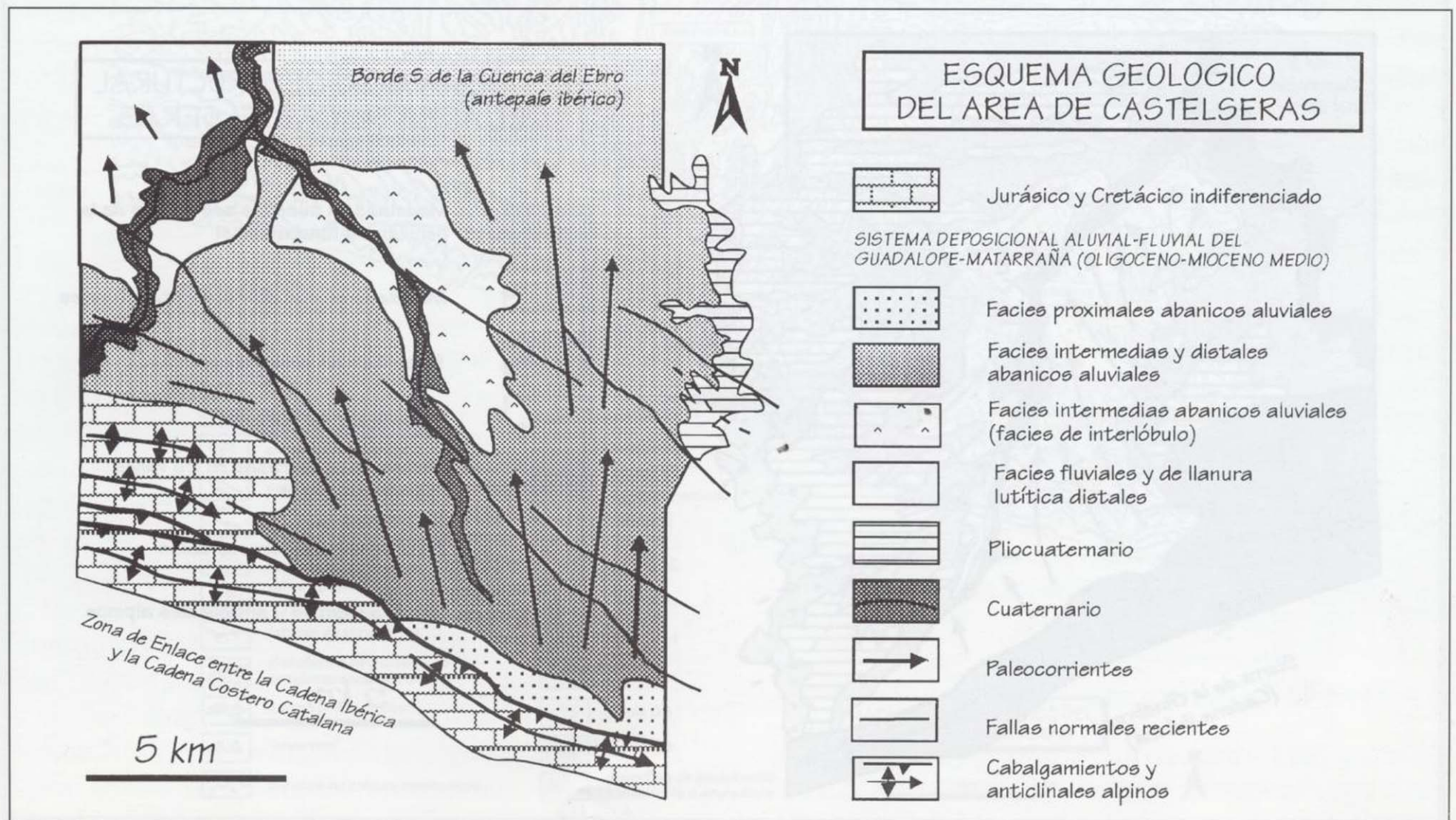


Fig. 2. Esquema Geológico del área de Castelserás.



constituye una alineación montañosa de dirección ONO-ESE y alturas situadas entre los 890 y 950 m, que se destaca unos 400 m sobre las zonas llanas topográficamente más bajas del borde meridional de la Depresión del Ebro.

En el esquema de la Fig. 3 se recogen las principales unidades morfoestructurales diferenciadas en el área de Castelserás, así como los principales tipos de modelado observados. Coincidiendo con los macizos calcáreos de la Sierra de la Ginebrosa, se observa un modelado en cuevas exhumado por erosión, con restos en su culminación de una gran superficie de arrasamiento o penillanura fundamental. En el sector oriental del área y bajo una superficie de piedemonte antigua más o menos degradada, el tipo de modelado predominante es el de plataformas estructurales, el cual es generado a favor de los niveles conglomeráticos competentes intercalados en los materiales lutíticos terciarios. Las formas que caracterizan los sectores centrales y noroccidentales topográficamente más bajos del área, son un

conjunto de superficies de glacia cuaternarios en el que se encaja el sistema de terrazas escalonadas asociado a los actuales valles fluviales.

Por lo tanto, las características geomorfológicas del área de Castelserás pueden describirse siguiendo cuatro grandes apartados temáticos: las superficies de erosión que, junto a la morfoestructura, configuran los grandes rasgos del relieve actual, el modelado cuaternario superpuesto, definido por las formas de detalle y generado predominantemente por los procesos fluviales, y la dinámica subactual-actual del río Guadalope como curso principal. La expresión cartográfica de cada una de estas formas está recogida en el Mapa Geomorfológico de la Fig. 4.

#### 4.1. Superficie de tipo penillanura fundamental

La penillanura fundamental representa la culminación de un ciclo erosivo-deposicional que tuvo lugar a finales del Cenozoico, como consecuencia

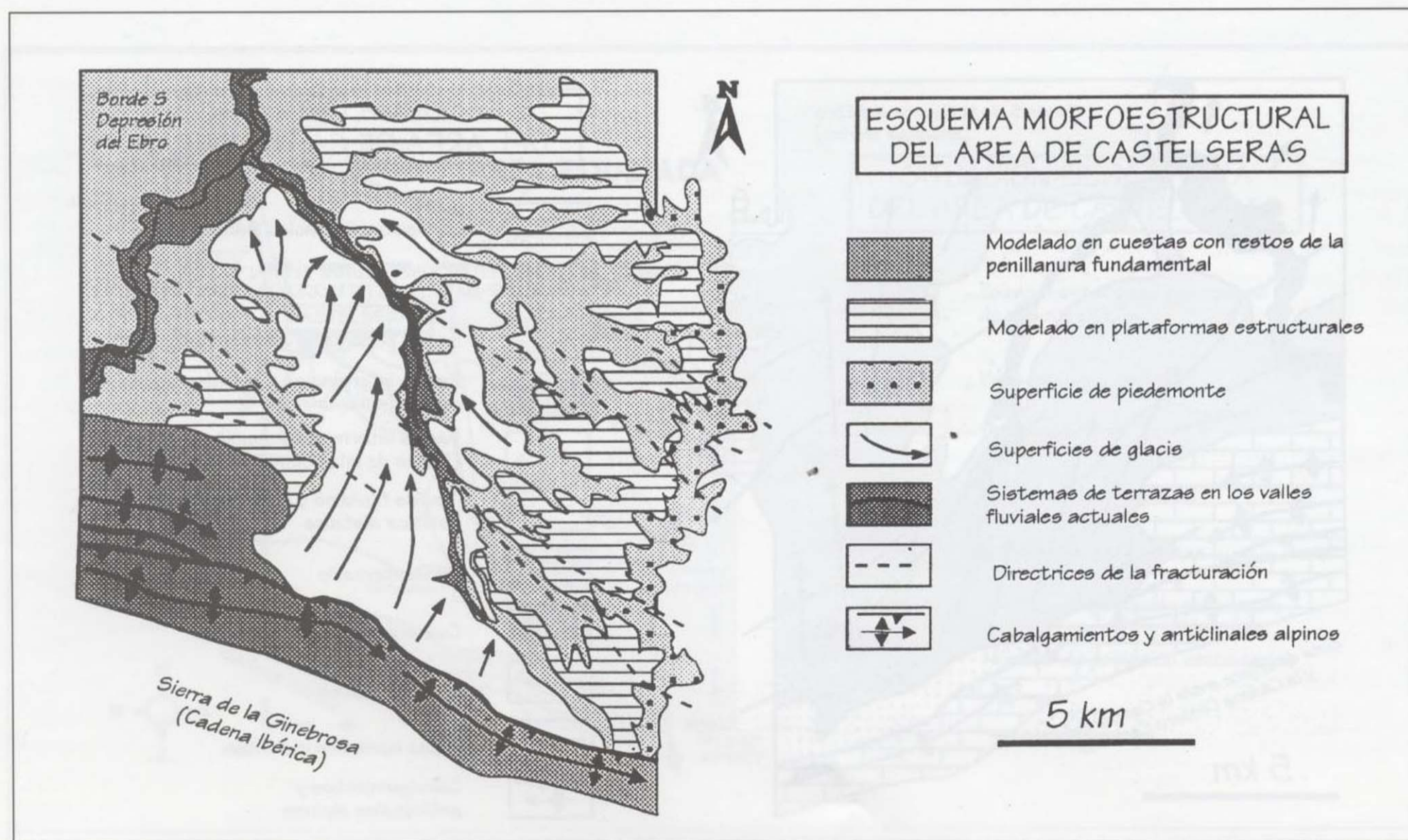


Fig. 3. Esquema Morfoestructural del área de Castelserás.



stituye una alineación montañosa de dirección NO-ESE y alturas situadas entre los 890 y 900 m, que se destaca unos 400 m sobre las llanuras topográficamente más bajas del sector meridional de la Depresión del Ebro.

El esquema de la Fig. 3 se recogen las principales unidades morfoestructurales diferenciadas en el área de Castelserás, así como los principales tipos de modelado observados. Coincidiendo con los macizos calcáreos de la Sierra de la Ginebroa, se observa un modelado en cuevas umbradas por erosión, con restos en su culminación de una gran superficie de arrasamiento o penillanura fundamental. En el sector oriental del área y bajo una superficie de piedemonte antigua o menos degradada, el tipo de modelado dominante es el de plataformas estructurales, al ser generado a favor de los niveles conglomeráticos competentes intercalados en los materiales lutíticos terciarios. Las formas que caracterizan los sectores centrales y noroccidentales topográficamente más bajos del área, son un

conjunto de superficies de glaciares cuaternarios en el que se encaja el sistema de terrazas escalonadas asociado a los actuales valles fluviales.

Por lo tanto, las características geomorfológicas del área de Castelserás pueden describirse siguiendo cuatro grandes apartados temáticos: las superficies de erosión que, junto a la morfoestructura, configuran los grandes rasgos del relieve actual, el modelado cuaternario superpuesto, definido por las formas de detalle y generado predominantemente por los procesos fluviales, y la dinámica subactual-actual del río Guadalupe como curso principal. La expresión cartográfica de cada una de estas formas está recogida en el Mapa Geomorfológico de la Fig. 4.

#### 4.1. Superficie de tipo penillanura fundamental

La penillanura fundamental representa la culminación de un ciclo erosivo-deposicional que tuvo lugar a finales del Cenozoico, como consecuencia

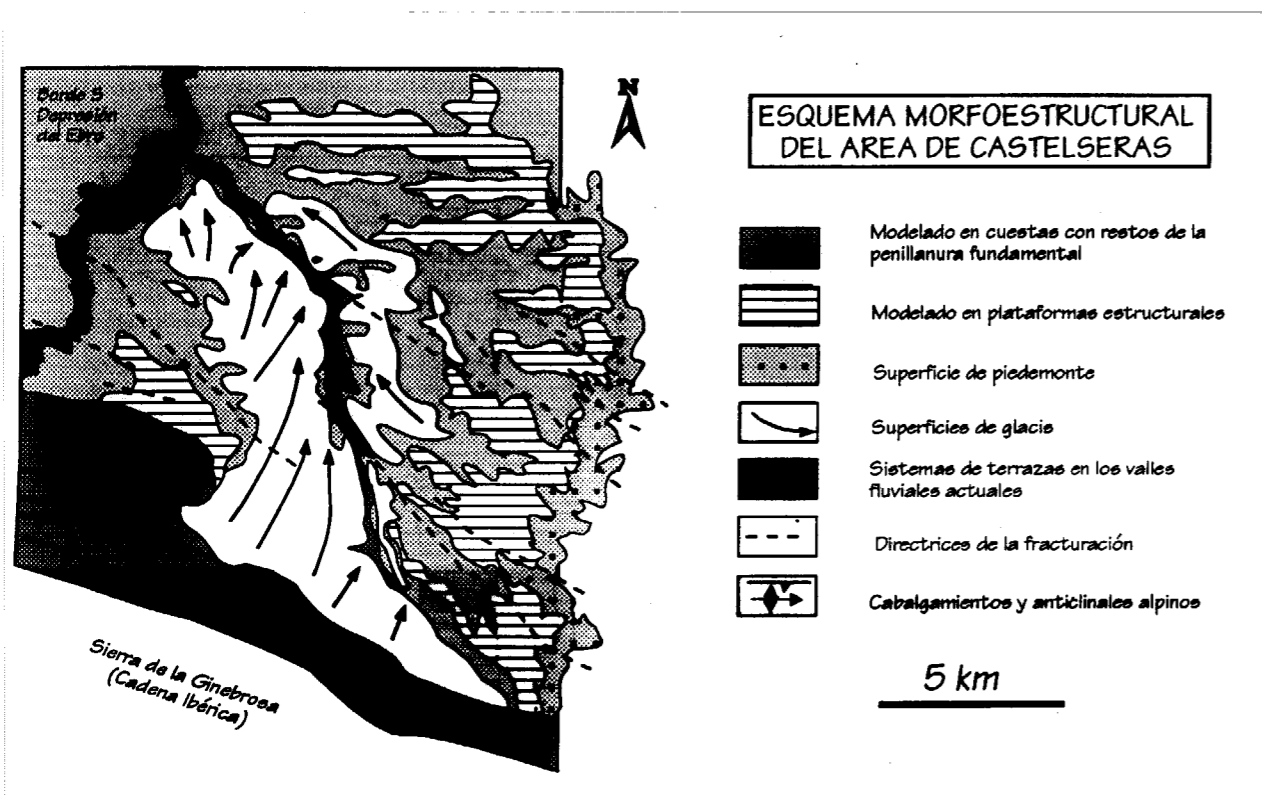


Fig. 3. Esquema Morfoestructural del área de Castelserás.

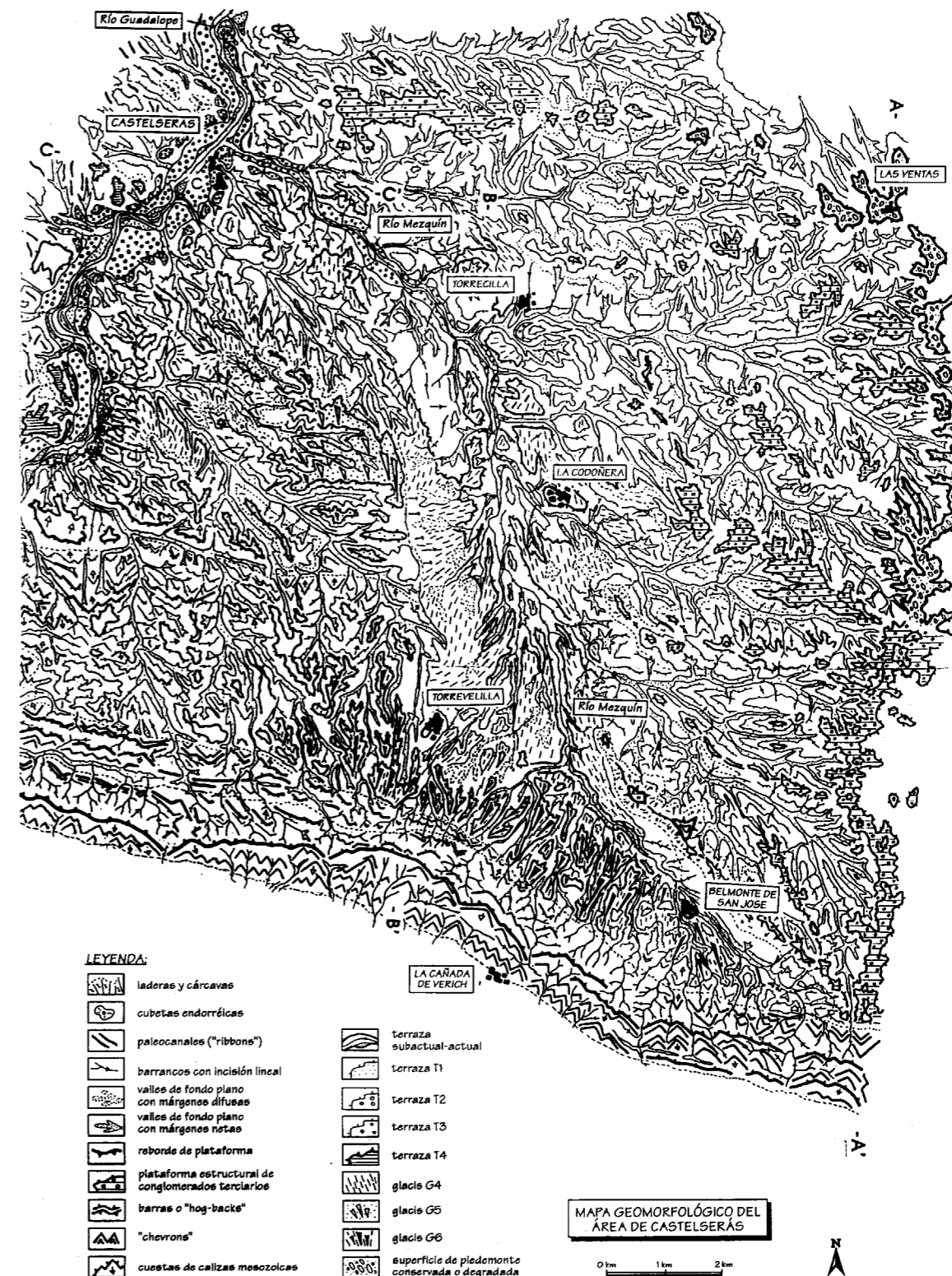


Fig. 4. Mapa Geomorfológico del área de Castelserás.

de la actividad tectónica alpina. La edad de esta penillanura ha sido establecida en base a la nivelación entre la superficie erosiva y los depósitos carbonatados de colmatación de la cuenca de edad Mioceno medio-superior (SOLE SABARIS, 1952 y 1978; IBÁÑEZ, 1976). Sin embargo, los nuevos datos cronoestratigráficos permiten reconsiderar la superficie como miopliocena (PAILHE, 1982), o Plioceno superior (biozona MN 16a, ADROVER et al., 1982). Regionalmente, la existencia de una superficie erosiva en las cumbres de las sierras del sector de Molinos-Mas de las Matas-Calanda y su nivelación con depósitos terciarios en Andorra, permitió deducir a IBÁÑEZ (1976) que la penillanura fundamental no fue perfectamente horizontal, sino que se dispuso en el sector inclinándose entre los 1.100 y 850 m y definiendo un suave gradiente hacia el N.

En el área de Castelserás, la huella en el paisaje de esta superficie ha quedado reducida por erosión a las cumbres aplanadas de la Sierra de la Ginebrosa, situadas a unos 900 m de cota media. Se trata de una serie de planicies suavemente alomadas situadas en el área culminante de la sierra, que aparecen disectadas por una densa red de barrancos (Fig. 4). Los elementos asociados a la penillanura son pequeños relieves residuales sin entidad cartográfica, cuya génesis como forma está condicionada a la disposición estructural de algunas de las litologías carbonatadas mesozoicas más competentes. De forma asociada a la superficie se observan también un conjunto de formas exokársticas, entre las que destacan pequeñas dolinas en cubeta variablemente erosionadas y otras formas menores como el lapiaz estructural y el oqueroso, originadas por procesos de disolución superficial. Aunque son funcionales en la actualidad, se trata de formas relictas generadas en épocas pasadas de climatología más húmeda (probablemente durante el Plioceno superior; PEÑA et al., 1984), que en general se encuentran en desequilibrio con las condiciones morfogenéticas actuales.

#### 4.2. Formas de relieve estructurales.

Se trata de formas exhumadas por los procesos erosivos, fundamentalmente fluviales, al actuar sobre los depósitos mesozoicos y cenozoicos. De acuerdo con la estructura de éstos, se pueden

diferenciar dos tipos de elementos básicos: las plataformas y las cuestas. Las plataformas estructurales se definen morfológicamente en zonas en las que las capas conglomeráticas tabulares de los depósitos terciarios se presentan subhorizontales. Aparecen limitadas en los bordes por escarpes de diferente entidad y contienen en su interior suaves ondulaciones, lomas residuales y, localmente, pequeñas cubetas de carácter endorréico. La extensión original de estas formas, en las que es posible distinguir dos o más niveles de plataformas, ha quedado muy reducida debido a la fuerte disección y encajamiento de los arroyos afluentes del río Mezquín, como los que discurren por las vales del Moro, del Olivar y del Pueblo, en la mitad oriental del área estudiada (sector de Las Ventas-La Codoñera-Belmonte de S. José).

Las características morfológicas de los macizos calcáreos que constituyen la Sierra de la Ginebrosa, están en gran parte condicionadas por su estructura en pliegues anticlinales cabalgantes marcadamente asimétricos. En dichos pliegues anticlinales, el flanco sur cabalgante presenta buzamientos medios-bajos y se suele corresponder con una gran cuesta en la que los barrancos han originado reversos con típicos "chevrons"; el flanco norte cabalgado, en cambio, se caracteriza por la formación de barras y "hog-backs" al disponerse las capas calcáreas subverticales.

#### 4.3. El modelado de detalle: la evolución cuaternaria

**Superficie de tipo piedemonte.** Como consecuencia de la actividad tectónica alpina reciente, la penillanura fundamental resultó desnivelada en un conjunto de bloques elevados y "grabens", que condicionaron la evolución morfogenética cuaternaria. Los datos regionales establecen que esta actividad tectónica comenzó al inicio del Villafranchense (biozona MN 16a, ADROVER, 1982) y fue de tipo extensional (SIMON, 1984). A partir de estas deformaciones y del consiguiente acentuamiento del relieve, se inicia un ciclo erosivo-sedimentario que, en gran parte del borde N de la Cadena Ibérica, culmina con el establecimiento de una extensa superficie de piedemonte modelada en glaciais hacia el centro de la Depresión del Ebro (IBÁÑEZ, 1976).

En el área de Castelserás, la superficie de piedemonte se conserva únicamente en el estrecho interfluvio Guadalupe-Matarraña, aunque bastante degradada por la acción tectónica y la intensa erosión fluvial posterior. Dicho piedemonte aparece desnudo en unas áreas y con una cubierta detrítica en otras, constituyendo la primera superficie encajada en la penillanura fundamental. En detalle, conforman esta superficie de piedemonte los restos de planicies y las suaves rampas de un 2% de pendiente media, que descienden a partir de las elevaciones de la Sierra de la Ginebrosa hacia el N.

En el corte A-A' esquemático de la Fig. 5, se observa como la superficie va perdiendo progresivamente altura, desde la cota de 890 m de la Sierra de la Ginebrosa hasta la de 610 m en Las Ventas de Valdealgorfa, pasando de tener un carácter erosivo a acumulativo. Donde aparecen preservados, los depósitos asociados a la superficie están constituidos por secuencias de menos de 1.5 m de potencia, constituidas a la base por facies conglomeráticas canalizadas (Gm y Gp; nomenclatura de facies "sensu" MIAL, 1978) y a techo por facies arenoso-lutíticas (Sm, St, Fm y

Fl) (Fig. 7). Las primeras registran la sedimentación en los sectores medios y distales de abanicos aluviales entrelazados y las segundas son típicas de depósitos de desbordamiento del canal. Por lo tanto, aunque en los sectores proximales de la superficie predominan los procesos erosivos, en los distales tiene lugar la formación de amplios abanicos aluviales cuya procedencia fue meridional, tal como establecen las paleocorrientes hacia el N y NNE, deducidas a partir de la imbricación de cantos. En estas áreas distales debieron dominar las condiciones climáticas áridas y localmente existir un mal drenaje, como sugiere la presencia de costras carbonatadas laminares intercaladas entre las facies lutíticas de techo.

Para establecer una cronología a esta superficie es necesario recurrir a las correlaciones con otras áreas. La situación encajada del piedemonte la penillanura fundamental, permite atribuirlo al Plioceno superior (Villafranchense inferior) y correlacionarlo tentativamente con los glaciais de esa misma edad del área de Teruel (GUTIERREZ y PEÑA, 1976; IGME, 1982; PEÑA et al., 1984).

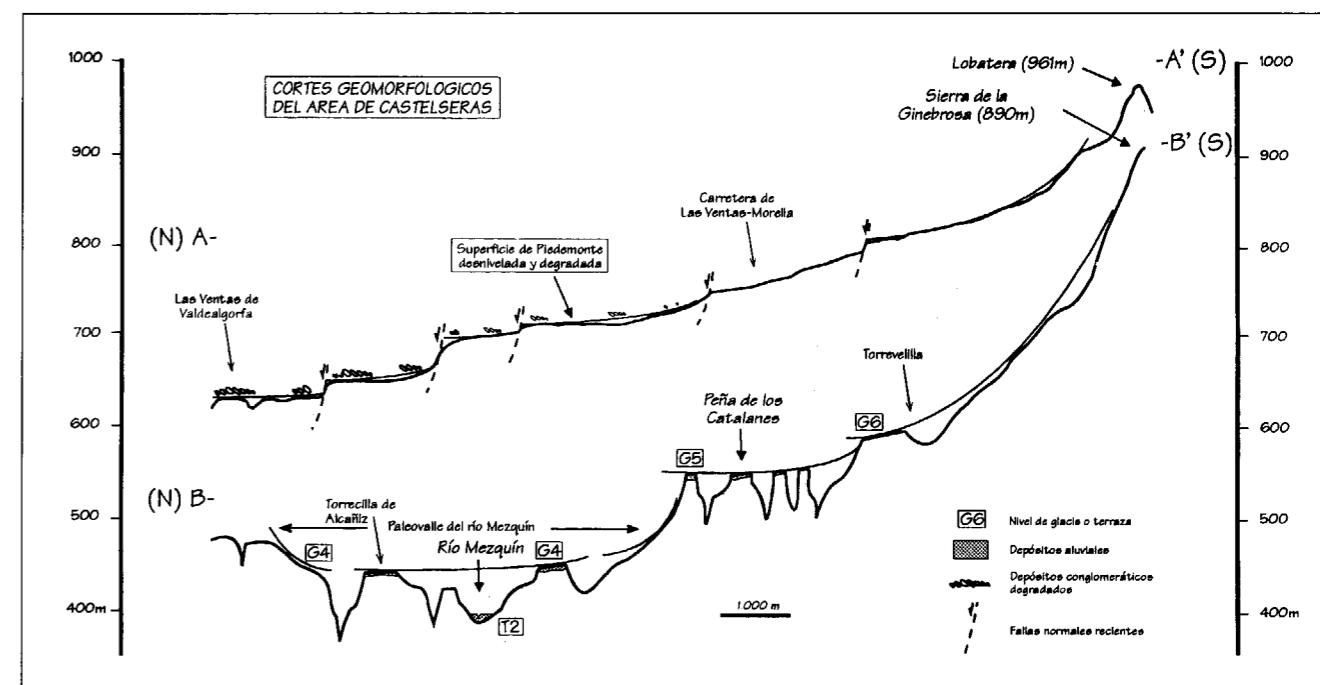


Fig. 5. Cortes geomorfológicos del área de Castelserás. A-A' y B-B' definen su localización en el Mapa Geomorfológico de la Fig. 4, aunque la escala horizontal no coincide.



**Glacis.** La superficie de piedemonte aparece igualmente desnivelada formando un sistema en escalera hacia el N, como consecuencia del movimiento de un sistema de fallas recientes de dirección ONO-ESE, alto ángulo y movimiento normal (Fig. 2 y 5). Con esta actividad tectónica extensional se asocia también el basculamiento regional de unos pocos grados de la serie conglomerática terciaria hacia el S, debido a un mecanismo de "roll over".

Estas deformaciones recientes producen un nuevo reajuste del relieve e inician, junto a los cambios climáticos, una evolución morfogenética que desemboca en la elaboración de varios niveles de glacis encajados en la superficie de piedemonte. Debido a su localización espacial y elevación topográfica intermedias, se trata de formas que evolutivamente son transicionales entre las morfologías de grandes planicies plio-cuaternarias y los sistemas de terrazas en valles fluviales cuaternarios. Como queda expresado en el corte B-B' de la Fig. 6, en el área de Castelserás existen tres rellanos escalonados (G6, G5 y G4), que muestran un perfil en glacis y una fluencia general hacia el N, aunque sin relación con la red hidrográfica actual. Los glacis presentan a menudo pendientes fuertes como consecuencia del escaso desarrollo de paleovalles y del impor-

tante desnivel topográfico, como el G6 que arranca desde el propio escarpe de la sierra de la Ginebrosa.

El G6 es un glacis erosivo en el sector de Torrevellilla-Belmonte de San José, sector donde únicamente aparece preservado. Los glacis G5 y G4 son, por el contrario, glacis de depósito caracterizados por la existencia de un recubrimiento detrítico producto de la removilización del sustrato. El G5 aparece conservado en el reducido sector de la Peña de los Catalanes (NO de Torrevellilla), entre las cotas 520 y 540 m, caracterizándose su superficie por la formación de un encostramiento carbonatado con agregados de sílex a veces estratiformes. Esta localmente constituido por facies de gravas (G y Gm) con delgadas intercalaciones arenosas (St), que forman secuencias de 0,2 a 0,4 m de espesor (Fig. 7). El nivel más bajo, el G4, se relaciona lateralmente con la terraza T4 del río Guadalope en las proximidades de Castelserás (Fig. 6). Aunque en zonas está muy degradado por la incisión de los barrancos y las etapas posteriores de encajamiento, su desarrollo ha configurado buena parte de la actual morfología del valle del río Mezquín. En ocasiones, el G4 presenta acumulaciones conglomeráticas (facies G, Gm y Gp) de entre 1,2 y 1,5 m de potencia, consistentes en 2 ó 3 secuencias

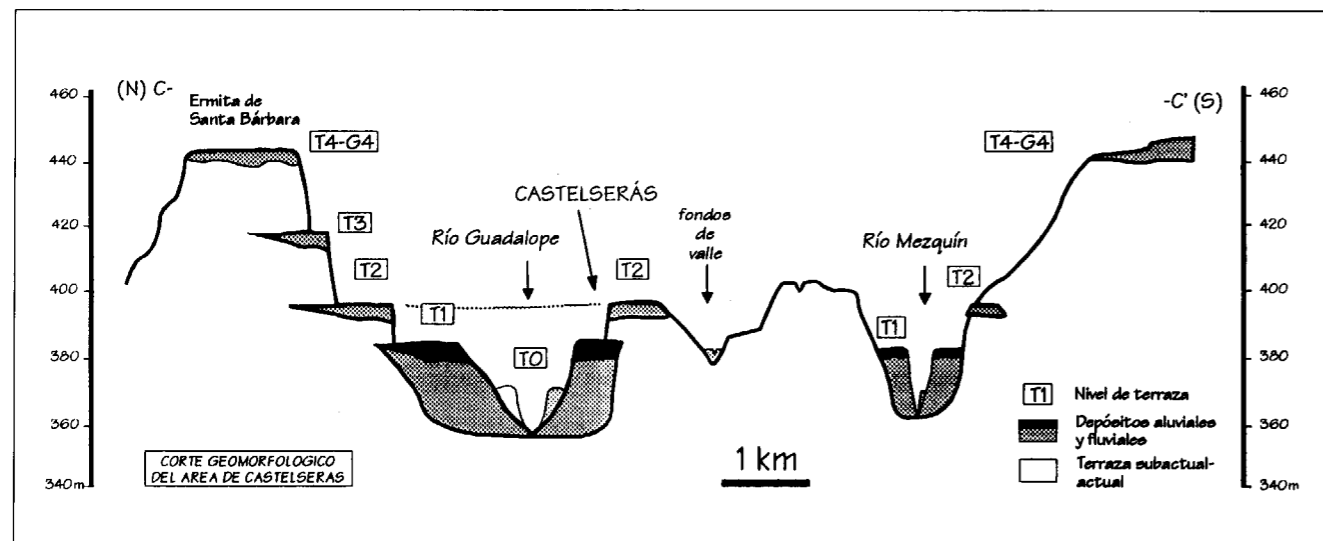


Fig. 6. Corte geomorfológico del área de Castelserás. C-C' define su localización en el Mapa Geomorfológico de la Fig. 4, aunque la escala horizontal no coincide.

granodrecientes de base erosiva superpuestas, caracterizadas por la formación de superficies ferruginosas y hacia techo encostramientos carbonatados irregulares con nódulos de sílex (Fig. 7)

Los depósitos de los glacis G5 y G4, se relacionan con la parte media-distal de abanicos aluviales generados bajo condiciones climáticas áridas y en las que el régimen hídrico tuvo un carácter esporádico. No obstante, la superficie G4 presenta también desarrollo de facies lutíticas o lutítico-arenosas con intercalaciones de carbonatos edáficos y nódulos de sílex, propias más bien de zonas de la llanura lutítica.

**Depósitos en sistemas de terrazas fluviales.** En el área de Castelserás se han identificado un total de cuatro niveles de terrazas fluviales, en las que la edad del depósito crece a medida que se sitúan topográficamente más altas, lo que permite establecer un modelo evolutivo de terrazas escalonadas tanto para el río Guadalope como para su afluente el Mezquín (Fig. 4 y 6). Las terrazas definen una sucesión de superficies planas de desigual desarrollo para cada una de ellas, que descienden escalonadamente de forma bastante simétrica desde ambas márgenes y hacia el cauce principal. Los niveles más bajos (T3, T2 y T1), aparecen encajados y directamente relacionados con el cauce actual del río Guadalope, en

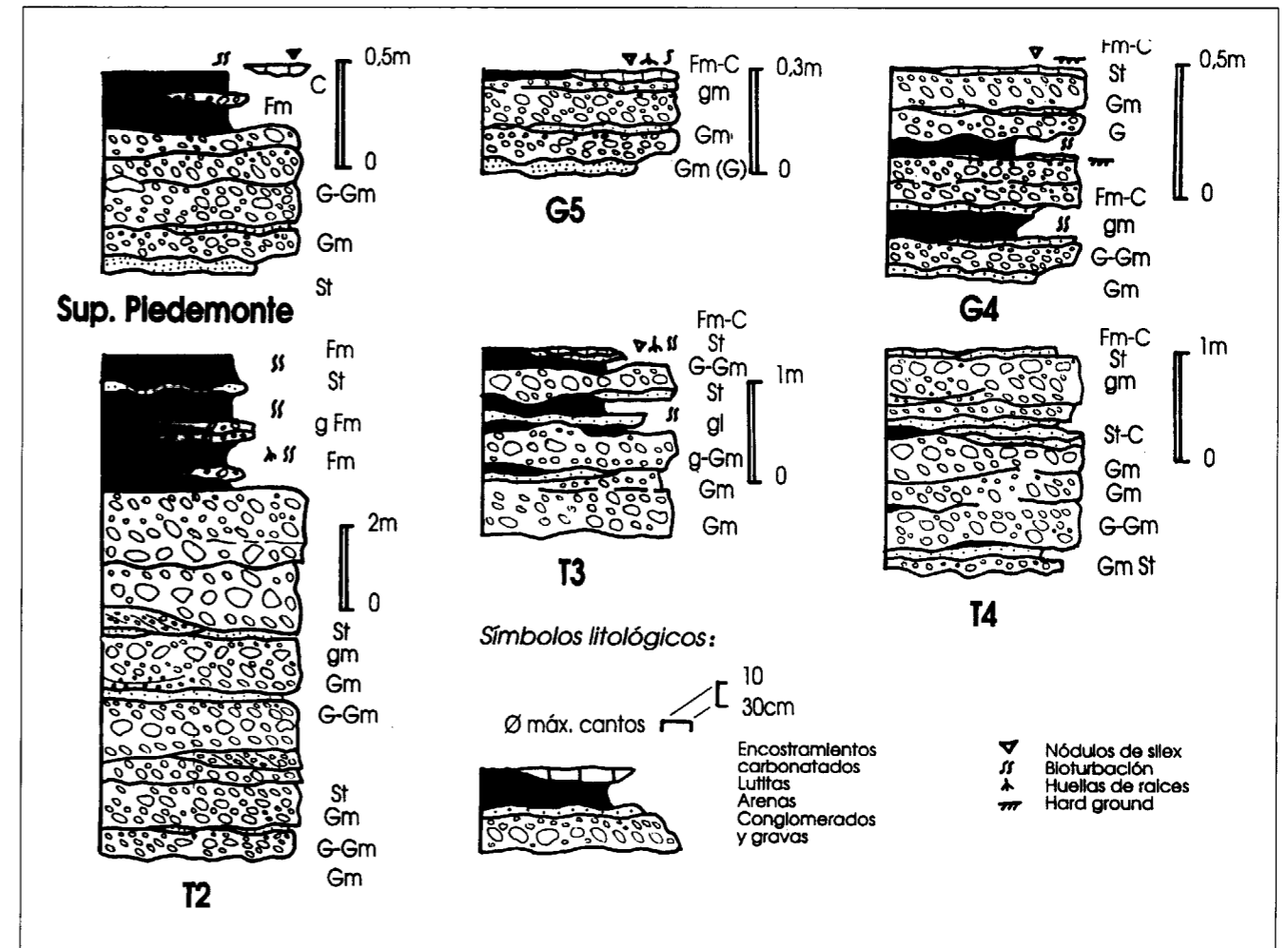


Fig. 7. Columnas estratigráficas de los depósitos cuaternarios y plio-cuaternarios reconocidos en el área de Castelserás.

clara oposición con el nivel de terraza más alto, el T4, que se sitúa colgado sobre los relieves de materiales terciarios que delimitan al valle.

Las características litológicas de los niveles de terrazas del sistema del Guadalupe como del Mezquín son muy similares. Los depósitos son predominantemente gravas constituidas por cantos carbonatados de procedencia ibérica, de edad original jurásica y cretácica, con intercalaciones subordinadas de arenas. Las principales diferencias interniveles se corresponden con la potencia de los depósitos, que varía entre 1 y 16 m, y el mayor o menor grado de encostramiento carbonatado de los mismos, que suele ser mucho más importante en los niveles topográficamente más altos, es decir, en los más antiguos.

En las proximidades de Castelserás, los tipos de facies presentes en el sistema del Guadalupe son: gravas masivas con imbricación de cantos (Gm) y gravas con estratificación cruzada planar (Gp), que constituyen barras longitudinales generadas principalmente en las etapas de avenida y de alta energía por corrientes de tipo entrelazado con elevada carga tractiva (Fig. 7). Subordinadamente, aparecen niveles de gravas con forma de cuña, escasa continuidad lateral y estratificación cruzada en surco (Gt), con los que pueden asociarse facies arenosas con cantos (Sp y St), originados por la migración de megariples lateralmente a las barras en las etapas de menor energía. Localmente existen también lentejones lutíticos que representan el relleno por decantación de canales abandonados. El conjunto de las facies terrígenas se corresponde con un complejo relleno multiepisdico del canal, en el que se evidencian diferentes superficies de reactivación.

Superpuestos a los depósitos de canal y constituyendo en conjunto una gran secuencia granodreciente, se observa una importante acumulación de lutitas relacionada con la acreción vertical en la llanura de inundación. Estos depósitos aparecen intensamente bioturbados y con frecuentes huellas de raíces y restos vegetales. La presencia local de alteraciones edáficas, huellas de desecación y encostramientos carbonatados, evidencia la existencia de un clima semiárido durante su depósito. Intercalados en las lutitas aparecen niveles lenticulares decimétricos

de limos y arenas con "ripples", que probablemente se relacionan con pequeños lóbulos de derrame generados por el desbordamiento del canal durante las avenidas.

Si se tienen en cuenta los aspectos morfológicos y la extensión de los diferentes niveles de terrazas, se observa que existe un marcado contraste entre la extensa T4 y los niveles situados en cotas inferiores, los cuales aparecen confinados al actual valle fluvial y en relación directa con el río Guadalupe, por lo que se interpretan como terrazas *sensu stricto*.

Los retazos conservados del nivel T4 presentan una gran extensión areal y una relativa independencia con la red fluvial actual. Cuando aparece verticalmente completa, está constituida por una secuencia de 1.5 a 2.5 m de espesor (Fig. 7), compuesta por facies de gravas con imbricación de cantos (Gm) y lutitas masivas con intercalaciones de arenas finas (Fm). El conjunto se interpreta como depósitos de llanuras aluviales surcadas por canales entrelazados ("braidplains"), o incluso como partes distales de abanicos aluviales de gran extensión.

Con posterioridad a la sedimentación de la T4, tuvo lugar una etapa de intensa incisión o encajamiento de la red fluvial, acompañada por procesos de captura y de una mayor jerarquización de la red, lo que originó el confinamiento de los depósitos de terrazas al valle fluvial. Entre estas terrazas, la T2 es la que presenta un mayor desarrollo e imprime la morfología actual del valle. Este nivel registra una gran etapa de agradación en el medio fluvial, a la vez que se relaciona lateralmente con el relleno de los fondos de valle planos. Al menos para sus tramos altos y dada la presencia en ellos de restos arqueológicos, esta agradación puede estar relacionada con el impacto que supuso la actividad humana al inicio de las etapas Subatlántica y Romana (2800-2200 BP), la cual produjo una intensa desforestación e incrementó el desarrollo de las prácticas de cultivo agrícolas (BENAVENTE, 1987 y 1988; STEVENSON et al., 1991). Sobre este nivel aparece actualmente encajado el nivel T1, cuya dinámica está directamente relacionada con la intervención del hombre en el medio y los condicionamientos que impone en la forma del canal fluvial.

En el río Mezquín se ha reconocido también un sistema de terrazas con varios niveles, cuyo desarrollo se localiza principalmente en su curso inferior, donde se correlacionan con sus homólogas en el Guadalupe (Figs. 4 y 6). Los niveles de terrazas están constituidos por facies de gravas (Gm), que aparecen recubiertas por facies lutíticas intensamente bioturbadas con locales carbonatos edáficos (Fm y Fr), correspondientes a la antigua y, dada la extensión de las facies, exigua llanura de inundación.

La dotación precisa de los sistemas de glacierrazas es una tarea árdua incrementada por la escasez de dotaciones absolutas y por la poca exactitud de cualquier otro tipo de información cronológica. En el área de Castelserás, los datos útiles disponibles se basan en la relación de algunos yacimientos arqueológicos con los diferentes niveles de terrazas. En este sentido, se han encontrado en la T1 restos de cerámica de los siglos XVIII-XIX y en la T2 fragmentos que indican una edad de generación posterior al Bronce medio-final (3.500-3.100 BP). A falta de otros datos cronológicos absolutos, para el río Guadalupe se pueden proponer en base a correlaciones con otros sectores de la Depresión del Ebro la asignación de la Tabla 1 (PEÑA et al., 1984; GUTIERREZ et al., 1992).

**Valles de fondo plano o "vales".** Las "vales" constituyen el relleno del fondo de los largos y estrechos valles que interdigitan, debido a la acción erosiva remontante, el modelado de plata-

formas estructurales, sobre todo en la margen oriental del río Mezquín. El relleno de las "vales" es esencialmente lutítico, pero localmente intercala pequeños lentejones arenosos o conglomeráticos. Su origen se relaciona con la mezcla de los aportes aluviales, resultado del abandono de su carga tractiva y decantación, y los coluviales, consecuencia del arrastre por arroyada en las laderas. Aunque estos procesos son funcionales en la actualidad, en general los fondos de los valles se presentan intensamente antropizados por los usos agrícolas.

**Valles de incisión lineal.** Los valles de incisión lineal son formas de diversas escalas que constituyen el lecho del cauce actual en muchos barrancos y pequeños arroyos, apareciendo también superpuestas a los valles de fondo plano en su parte baja. Estos valles se caracterizan por un trazado lineal y una anchura siempre menor que la profundidad. Como en los valles de fondo plano, su situación y desarrollo rectilíneo presenta un control tanto litológico como estructural, siendo este último paralelo a la directriz de fracturación y diaclasado principal ONO-ESE. Su régimen es pluvial, aunque de marcado estiaje, y los rellenos aluviales que localmente aparecen se corresponden con "lags" de cantos de la litología del sustrato, o con delgados niveles de arenas y limos.

**Depósitos de ladera.** En gran parte del área estudiada, los usos agrícolas de aterrazamientos y las repoblaciones forestales han modificado sustancialmente las características originales de las

TABLA 1

NIVEL	T1 (1-3.5 m)	T2 (12-18 m)	T3 (26-32 m)	T4 (70-80 m)	G5
SERIE	Holoceno	Holoceno	Pleistoceno superior	Pleistoceno superior	Pleistoceno medio
EDAD PREHISTORICA	Subactual y actual	2.300 a 2.900 BP	5.500 a 18.000 BP	40.000 a 60.000 BP	84.000 a 120.000 BP
GRANDES DIVISIONES	Pequeña edad del Hielo (XVI-XIX)	Epoca Fría Edad del Hierro	Würm IV	Würm I-II	Interglacial Riss-Würm
PROCESOS POST-TERRAZA	Desforestación Encajamiento	Desforestación Encajamiento	Costras y Encajamiento	Costras y Encajamiento	Costras y Encajamiento



laderas. En los sectores no modificados por causas antrópicas, no obstante, las laderas presentan un perfil cóncavo-convexo y aparecen desnudas o con un pequeño recubrimiento irregular de bloques, desprendidos por gravedad desde las plataformas estructurales superiores.

En los tramos lutíticos potentes es frecuente el desarrollo de un modelado en cárcavas. Sin embargo, los sectores del área estudiada situados por encima de la cota de los 550-600m aparecen recubrimientos más continuos en la parte baja de las laderas. Entre ellos, destaca la acumulación longitudinal situada en el cambio de pendiente al pie de la sierra de la Ginebrosa, localizada a unos 700 m de altitud y en gran parte colonizada por una vegetación de pino y monte bajo.

Estas acumulaciones presentan una potencia muy irregular, que puede llegar a ser de 1,5 m, estando constituidas por cantos heterométricos angulosos de rocas carbonatadas ligeramente cementados. La génesis de estos depósitos se relaciona con el retroceso por termoclastia de la cornisa rocosa superior, durante etapas del Holoceno más frías y húmedas que la actual, probablemente durante la Epoca Fría de la Edad del Hierro (2.900-2.300 BP), previa a la Subatlántica cálida (2300 BP-1.450 AD) (GUTIERREZ et al., 1992). Posteriormente, estos depósitos de ladera han resultado afectados por la incisión lineal de pequeños arroyos, como consecuencia del doble efecto antrópico y climático, asociado con la época actual más cálida y seca.

#### 4.4. Dinámica subactual-actual.

En la actualidad, tanto el río Guadalupe como el Mezquín constituyen cursos fluviales que se caracterizan por su carga tractiva, fundamentalmente de gravas, que se transporta mediante formas de fondo. Atendiendo a su situación en relación al canal funcional y la estructura interna del depósito resultante (BLUCK, 1976), estas formas se corresponden con barras laterales, longitudinales y, en ciertos tramos, medias, constituidas por gravas masivas, con imbricación de cantos o con una poco marcada estratificación horizontal (G y Gm). Como es característico de climas semiáridos, estas barras parecen tener

movilidad preferentemente en las épocas de avenida o en situaciones en que la alta energía del flujo puede modificar sustancialmente el lecho del río. Estas barras presentan retoques locales debidas a crecidas estacionales y/o episódicas, evidenciadas por unidades de gravas con crecimiento lateral.

Superpuestas a las barras de gravas, se observan también unidades arenosas depositadas durante un régimen de energía decreciente del flujo, que lateralmente pasan al cauce principal activo o rellenan canales secundarios ahora colonizados por vegetación de ribera. Localmente, aparecen los materiales lutíticos y arenosos más finos, aunque siempre asociados a zonas de remansos fluviales o relleno de áreas topográficamente deprimidas, donde llegan al descender la energía durante las épocas de avenida.

Morfológicamente, el río Guadalupe es un curso fluvial de características meandriformes (el río Mezquín es episódico en la actualidad), favorecidas por la presencia de suaves pendientes y márgenes cohesivos cuya estabilidad está incrementada por la vegetación que los coloniza. Al presentar bajas relaciones de anchura/profundidad (<40) y un único canal principal bastante recto (con valores de  $S < 1.5$  en muchos tramos), en el que la corriente transporta una carga por tracción de predominantemente gravas, resulta ser similar a los cursos de baja sinuosidad caracterizados por la formación de barras laterales (SCHUMM, 1981).

La dinámica actual del río Guadalupe se ha visto afectada por su regulación antrópica que corresponde a los embalses Santolea y Calanda, situados aguas arriba del sector estudiado. Además, la acción antrópica tanto agrícola como industrial de sus márgenes es relativamente intensa, llegando su efecto incluso a imposibilitar el estudio de la dinámica natural actual. Actualmente, el principal proceso funcional observado es un encajamiento del cauce que llega a poner al descubierto los materiales terciarios del sustrato. Dicho encajamiento es debido tanto a la modificación del nivel de base aguas arriba, como al establecimiento local de márgenes artificiales que impiden al canal divagar lateralmente. Esta respuesta natural del sistema fluvial, junto con el

reducido caudal que presenta durante largos periodos de tiempo, ocasiona impactos de magnitud variable en el medio, tales como un descenso del nivel freático y de la calidad de las aguas subterráneas, la reducción de la vegetación arbórea en la ribera, la modificación de la red de drenaje que da lugar en sectores a la erosión del suelo y, en conjunto, a un cierto deterioro paisajístico.

## 5. CONCLUSIONES

La evolución geomorfológica del área de Castelserás se inicia con la elaboración de la penillanura fundamental a comienzos del Plioceno superior, como culminación de un ciclo erosivo-deposicional. La deformación posterior de la penillanura como consecuencia de la actividad tectónica extensional reciente, da lugar a la exhumación de los relieves estructurales de la Sierra de la Ginebrosa y al establecimiento de una superficie de piedemonte pliocuaternaria.

La evolución geomorfológica posterior está controlada por la red fluvial del río Ebro, que constituye regionalmente el nivel de base fundamental. A medida que progresa la incisión de la red fluvial, se generan en el Pleistoceno inferior los niveles de glaciares superiores, cuyos depósitos asociados pueden relacionarse con la parte media-distal de extensos abanicos aluviales. En el Pleistoceno medio y superior, la red fluvial experimenta una mayor jerarquización, y las etapas de aluvionamiento y encajamiento que originan el sistema de terrazas escalonadas inferiores, se localizan especialmente en los valles fluviales actuales.

En el área de Castelserás, los aportes detríticos de los ríos Guadalupe y Mezquín tienen lugar preferentemente en las épocas de avenida, como es característico en climas semiáridos. Su dinámica actual se ha visto principalmente afectada por su regulación antrópica aguas arriba y los usos principalmente agrícolas de los márgenes. Ambas actividades originan como proceso actual más importante un progresivo encajamiento de sus cauces.

## REFERENCIAS

- ALBERTO, F.; GUTIERREZ, M.; IBAÑEZ, M.J.; MACHIN, J.L.; POCIVI, A.; y RODRIGUEZ, J. (1984): *El Cuaternario de la Depresión del Ebro en la región aragonesa. Cartografía y síntesis de los conocimientos existentes*, Univ. de Zaragoza y Estación Experimental de Aula Dei, 217 pp., Zaragoza.
- ADROVER, R.; GUTIERREZ, M. y PENA, J.L. (1982): *Geología y Paleontología de los alrededores de Teruel*. XVI Curso Geol. Pract. Teruel.
- ALLEN, Ph; CABRERA, L.; COLOMBO, F.; y MATTER, A., (1983): *Variations in fluvial style on the Eocene-Oligocene alluvial fan of the Scala Dei Group, SE Ebro Basin, Spain*. J. Geol. Soc. London, v. 140: 133-146.
- ANADON, P.; CABRERA, L.; COLOMBO, F.; MARZO, M. y RIBA, O. (1981): *Estudio estratigráfico y sedimentológico del borde meridional de la Depresión del Ebro entre Alcañiz y Borjas Blancas (Provincias de Teruel, Zaragoza, Lérida y Tarragona)*. J.E.N. Informe inédito.
- ANADON, P.; CABRERA, L.; COLOMBO, F.; MARZO, M. y RIBA, O. (1986): *Syntectonic intraformational unconformities in alluvial fan deposits, eastern Ebro Basin margin (NE Spain)*. Spec. Publ. int. Ass. Sediment., 8: 259-271.
- ASHAUER, H. y TEICHMULLER, R. (1935): *Die variscische und alpidische gebirgsbildung cataloniens*. Abb. Gassells, Wiss. Gottingen. Math-Phys. III, 16, 78 pp.
- BENAVENTE, J.I. (1987): *Arqueología en Alcañiz*. D.G.A., Depto. de Cultura y Educación.
- BENAVENTE, J.I. (1988): *Las lagunas de origen endorreico como focos de atracción del poblamiento antiguo: El ejemplo de la Estanca de Alcañiz (Teruel)*. Kalathos, 7-8: 45-61.
- BLUCK, B.J. (1976): *Sedimentation of an alluvial fan in southern Nevada*. Jour. Sed. Petrology, 34: 395-400.
- CABRERA, L. (1983): *Estratigrafía y Sedimentología de las formaciones lacustres del tránsito Oligoceno-Mioceno del SE de la Cuenca del Ebro*. Doc. Tesis Universitat de Barcelona, 443 pp. Inédita.
- CABRERA, L.; COLOMBO, F.; Y ROBLES, J. (1985): *Sedimentation and tectonic interpretations of the Ebro Basin. Transition from alluvial to shallow lacustrine environments*. En Milá, M.A. y Rosell, J. (Eds.): 6th. European Regional Meeting Excursion Guidebook, pp. 393-492. Lérida.
- CANEROT, J. (1974): *Recherches géologiques aux confins de chaînes ibériques et catalanes (Espagne)*. ENADIMSA, serie 5, nº 4, 520 pp. Madrid.
- GUIMERA, J. (1984): *Paleogene evolution of deformation in the northeastern Iberian Peninsula*. Geological Magazine, v. 121.
- GUTIERREZ, M. y PEÑA, J.L. (1976): *Glaciares y terrazas en el curso medio del río Alfambra*. Bol. Geol. y Min., 87(6): 561-572.

GUTIERREZ, M.; ARAUZO, M.; Y SANCHO, C. (1996): *Facetas triangulares de laderas como indicadores paleoclimáticos*. Geogaceta 20(5): 1093-1095.

IBAÑEZ, M.J. (1976): *El Piedemonte Ibérico Bajoaragonés. Estudio Geomorfológico*. C.S.I.C., 523 pp. Madrid.

IGME (1982): *Mapa Geológico Nacional E. 1:50.000. Hoja 567 (Teruel)*. Madrid.

MEIN, P.; MOISSENET, E. y ADROVER, R. (1983): *L'extension et l'âge des formations continentales pliocenes du fosse de Teruel (Espagne)*. C.R. Atad. Sc. Paris, t.296: 1603-1610.

MIALL, A.D. (1978): *Tectonic setting and syndepositional deformation of molasse and other non-marine-paralic sedimentary basins*. Can. Jour. Earth Sci., 15: 1613-1632.

PAILHE, P. (1982): *La Chaine Ibérique et son piedemont septentrional: effects repetitifs de la tectonique et du climat*. En: Les relations entre las montañas récentes et leurs piedemonts. Colloque de Géomorphologie. Univ. de Toulouse.

PEÑA, J.L.; GUTIERREZ ELORZA, M.; IBAÑEZ, M.J.; LOZANO, M.V.; RODRIGUEZ, J.; SANCHEZ, M.; SIMON, J.L.; SORIANO, M.A.; y TETANO, L.M. (1984): *Geomorfología de la provincia de Teruel*. Inst. Est. Turolenses, C.S.I.C., 149 pp. Teruel.

QUIRANTES, J. (1979): *Estudio sedimentológico y estratigráfico del Terciario Continental de los Monegros*. Tesis Doct.

Universidad de Granada, 117 pp. Ed. Depto. Sed. y Edaf., C.S.I.C. Zaragoza.

RIBA, O. (1976): *Syntectonic unconformities of the Alto Calderer, Spanish Pyrenees: a genetic interpretation*. Sedimentary Geology, V. 15: 212-233.

RIBA, O; REGUANT, S y VILLENA, J. (1983): *Ensayo de síntesis estratigráfica y evolutiva de la cuenca terciaria del Ebro*. En Alonso et al.: Libro Jubilar J.M. Ríos. Geología de España, t. II, IGME, pp. 131-159, Madrid.

SIMON, J.L. (1984): *Compresión y distensión alpinas en la cadena ibérica oriental*. Inst. Est. Turolenses, 269 pp. Teruel.

SCHUMM, S. A. (1981): *Evolution and response of the fluvial system: sedimentological implications*. SEMP Spec. Pub. n° 31: 19-29.

SOLE SABARIS, L. (1952): *España Geografía Física*. En M. Terán: Geografía de España y Portugal. Tomo I. Ed. Montaner y Simón. Barcelona, 500 pp.

SOLE SABARIS, L. (1978): *Los rebordes oriental y meridional de la Meseta: Cordillera Ibérica y Sierra Morena*. En M. Terán et al.: Geografía General de España. Ed. Ariel, pp. 7485.

STEVENSON, A.C.; MACKLIN, M.G.; PASSMORE, D.G. y BENAVENTE, J.A. (1991): *Respuesta de los sistemas fluviales y lacustres a los cambios medioambientales y la actividad humana en Alcañiz (Teruel)*. Bol. Taller Arqueología de Alcañiz, 2: 25-35.

Original recibido: Agosto 1997.  
Original aceptado: Septiembre 1997.

## PRESENCIA DEL GENERO *QUERCUS* LINNE (MAGNOLIOPHYTA) EN EL VALLESIENSE (NEOGENO) DE LA CERDAÑA (LERIDA, ESPAÑA).

Por E. BARRON (\*)

### R E S U M E N

Se realiza un estudio sistemático de los restos fósiles asignables al género *Quercus* L., que se han colectado en los afloramientos de la cuenca lacustre de la Cerdaña (Lérida, España), tras el cual se determinan y describen cuatro especies a partir de restos foliares: *Q. drymeja* UNGER, *Q. hispanica* REROLLE, *Q. mediterranea* UNGER y cf. *Quercus* sp. Además, se describen 5 tipos diferentes de palinomorfos, algunos de ellos relacionables con distintas especies actuales de *Quercus*. Finalmente, se discuten aspectos de tipo paleoecológico y paleoclimatológico.

*Palabras clave:* Paleobotánica, *Quercus*, Estudio sistemático, Paleoecología, Paleoclimatología, Vallesense, Neógeno, la Cerdaña, Lérida, España.

### A B S T R A C T

Fossil remains assigned to the genus *Quercus* L. have been collected in the Vallesian (Neogene) outcrops from the Cerdaña region (Lérida province, Spain). Four species have been identified and described on the basis of foliar remains: *Q. drymeja* UNGER, *Q. hispanica* REROLLE, *Q. mediterranea* UNGER y cf. *Quercus* sp. Moreover, five different types of palynomorphs, several of them related to several extant species of *Quercus* are described. Finally, some palaeoecological and palaeoclimatological aspects are discussed.

*Key words:* Palaeobotany, *Quercus*, Systematic study, Palaeoecology, Palaeoclimatology, Vallesian, Neogene, la Cerdaña, Lérida, Spain.

### INTRODUCCION Y OBJETIVOS

El género *Quercus* está integrado en la actualidad por fanerófitos que se caracterizan por poseer hojas simples de morfología muy diferente, flores masculinas en amentos colgantes, femeninas aisladas o en grupos de 1 a 5 en inflorescencias amentiformes más o menos erectas, fruto en cúpula no lobada con sección transversal circular, y pólenes tricópalados, por lo general con ornamentación escábrida (CEBALLOS y RUIZ DE LA TORRE, 1979; HEYWOOD, 1985). Integra la subfamilia Quercoideae SCHWARZ de la Familia Fagaceae.

(\*) Dpto. de Paleontología-U.E.I. de Paleontología, Instituto de Geología Económica (CSIC): Fac. CC. Geológicas, U.C.M. 28040-Madrid.

Consideramos que la descripción más apropiada de este género es la de HUTCHINSON (1967). Esta se basa en características fundamentalmente florales en las que no vamos a hacer hincapié a causa del talante exclusivamente palinológico y foliar que tiene este trabajo.

En la actualidad, *Quercus* se encuentra representado por unas 200 especies, que habitan en todo el Hemisferio Norte, a excepción de las regiones polares y desérticas, e Indonesia, en el Hemisferio Sur (HUTCHINSON, 1967).

CAMUS (1936-1954) y JONES (1986), están de acuerdo en dividir a este género en dos subgéneros, en base a caracteres foliares, frutales y florales: *Cyclobalanus* (ÖERST.) SCHN. y *Euquercus*

HICKEL & A. CAMUS. Estos dos subgéneros están divididos a su vez en varias secciones y subsecciones.

La primera descripción de *Quercus* que se emitió desde un punto de vista paleontológico fue la de SCHIMPER (1874), en ella se consideran principalmente aspectos foliares. Sin embargo, este autor incluyó dentro del género a *Trigonobalanus* FORMAN y *Lithocarpus* BL., también pertenecientes a la familia Fagaceae y que actualmente integran subfamilias distintas (JONES, 1986), por lo tanto esta descripción debe considerarse con reservas.

Los restos fósiles más antiguos atribuibles al género *Quercus* son inflorescencias colectadas en el Eoceno medio de la Formación Claiborne, USA (JONES, 1986), maderas, hojas y frutos del Eoceno medio de la Formación Clarno, USA (MANCHESTER, 1983); y maderas del Bartonense del Oeste de Francia (VAUDOIS-MIEJA, 1985).

Palinomorfos asignables al género *Quercus* no han sido encontrados en sedimentos más antiguos del Oligoceno, estando representado en esta época por *Tricolporopollenites asper* THOMS. & PF., en Europa, y por *Q. shiabensis* MULLER en América del Norte (MULLER, 1981).

La importancia de este trabajo radica en que es la primera vez que se revisan los aspectos foliares y palinológicos del género *Quercus* de la flora vallesiense de la Cerdaña. Los datos recogidos provienen de distintos yacimientos y ponen de manifiesto la existencia de diversas especies que debieron integrar las distintas comunidades vegetales que existieron en la zona de estudio. Seguramente las especies que pasaremos a describir a continuación debieron formar parte de la vegetación dominante en los ecosistemas de la Cerdaña, lo que parece indicar que la familia Fagaceae, también representada en la Cerdaña por el género *Fagus* L. (BARRON & DIEGUEZ, 1994), debió dominar en los ecosistemas neógenos de forma similar a como lo hace hoy en día en muchos lugares del Hemisferio Norte.

Por otra parte, se realiza una revisión taxonómica que incrementa el conocimiento paleobotánico de la cuenca y ayuda a comprender el origen y

tendencias evolutivas de algunas especies actuales y fósiles de robles y encinas eurasiáticas.

#### ANTECEDENTES

Dentro del área de estudio fue REROLLE (1884-1885) quien dio a conocer la existencia de una interesante flora, hasta ese momento inédita, de edad Mioceno Superior, procedente de la Cerdaña. Ya en este trabajo se podía vislumbrar la importancia que tenía la familia Fagaceae en el conjunto de la paleoflora, tanto por la cantidad de ejemplares encontrados, como por la diversidad de especies a las que estos se podían asignar. REROLLE (op. cit.) describió y figuró 6 especies de quercíneas, 2 de las cuales se definían por primera vez: *Quercus denticulata* RER., *Quercus hispanica* RER., *Quercus praeilex* SAP., *Quercus weberi* HR. y *Quercus* sp.

El autor no menciona las localizaciones de los afloramientos donde obtuvo sus ejemplares, por lo que es imposible dilucidar si pertenecían a la Cerdaña española o a la francesa.

En 1945, VILLALTA y CRUSAFONT dieron a conocer una flora de características similares a la de Rérolle, procedente de la zona de Bellver de Cerdanya. Extrajeron gran cantidad de ejemplares, que hoy forman parte de las colecciones del Instituto Tecnológico Geominero de España y del Museo de Geología de Barcelona, mencionando por primera vez a las especies siguientes: *Q. crasipes* HR., *Q. drymeja* UNG., *Q. mediterranea* UNG., *Q. neriifolia* (AL. BR.) UNG. y *Q. praecursor* SAP.

Posteriormente, MENENDEZ AMOR (1955), citó por primera vez a las especies *Q. elaena* UNG. y *Q. salicina* SAP.; y ALVAREZ RAMIS y GOLPE-POSSE (1981) a *Q. palaeocerris* SAP., con lo cual el número total de especies asignadas al género *Quercus* en el Neógeno ceretano a partir de restos foliares ascendió a 13.

En 1957, JELGERSMA citó y cuantificó *Quercoidites henrici* (R. POT) POT., THOMS. & THIERG. y *Pollenites microhenrici* R. POT., en las minas de Prats y Estevar. Según esta autora se encontraban con porcentajes relativamente

abundantes. Más adelante, BESSEDIK (1985) señaló la presencia del tipo polínico *Q. cf. ilex-coccifera*, y de otro tipo que determina como *Quercus* sp., en las minas de Sampsor y Sanavastre. Finalmente, BALTUILLE et al. (1992) pusieron de manifiesto la presencia de *Tricolporopollenites asper* THOMSON & PFLUG, en los lignitos de Santa Eugenia y Sanavastre.

#### MATERIAL Y METODOS

La megaflore estudiada consiste en restos foliares que aparecen siempre en forma de impresiones y compresiones sin restos cuticulares conservados, en el sentido propuesto por BARRON (1993). Estos ejemplares integran las colecciones del Museo Geominero (MGM), Museo de Geología de Barcelona (MGB), Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC) (MNCN), Museo del Seminario de Barcelona (MGSB), Departamento de Geología de la Universidad Autónoma de Bella Terra, Barcelona (UBT) y Departamento de Paleontología de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM); colecciones particulares, como son las de los señores Mañé Vila (MV), Lladó

Fuster (LF) y E. Aguilar (A); así como a ejemplares colectados por nosotros en diferentes campañas de campo.

Las siglas usadas para mencionar los ejemplares estudiados son las que se utilizan en las distintas instituciones visitadas, o en el caso de las colecciones particulares, la abreviatura de los apellidos del dueño de la colección. Existen algunos museos que tienen en su haber más de una sigla, este es el caso del Museo de Geología de Barcelona, que presenta vegetales de la Cerdaña en su colección general (MGB), en la colección del Dr. Gómez-Alba (MGBG-A) y en la del Dr. Villalta (MGBV). De forma semejante a lo que ocurre en el Museo anteriormente citado, los ejemplares ceretanos del Departamento de Paleontología de la Universidad Complutense de Madrid, presentan diferentes siglas que hacen referencia al afloramiento en donde se colectó el material: UCM-CBEDERS, indica ejemplares colectados en Beders; UCM-CCS y UCM-CS, son siglas que corresponden a ejemplares encontrados en Coll de Saig; UCM-CSE, es indicativo del afloramiento de Santa Eugenia; mientras que UCM-CTV lo es del torrente de Vilella y UCM-CBII, del barranco de Salanca (Fig. 1).

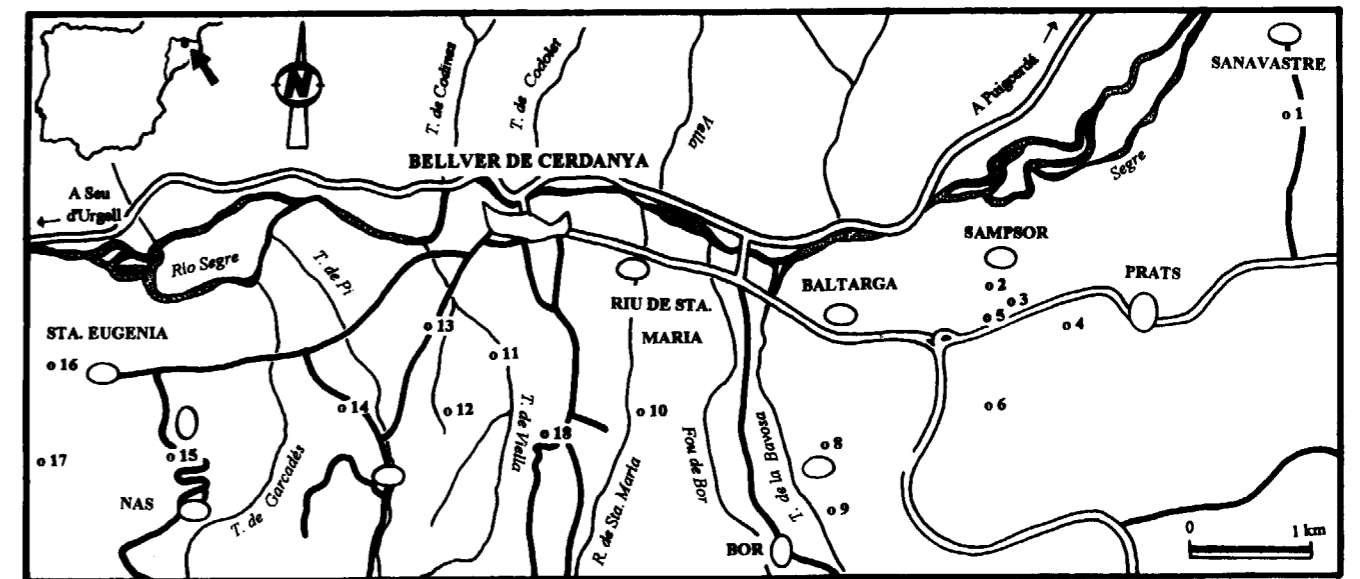


Fig. 1. Situación geográfica de los afloramientos en donde se ha encontrado registro fósil del género *Quercus*. 1. Mina de Sanavastre, 2. Mina de Sampsor, 3. Vertedero de Sampsor, 4. Prats, 5. Coll de Saig, 6. San Salvador, 7. Camino de Baltarga a Bor, 8. Beders, 9. Torrente de la Bavosa, 10. Riu de Santa María, 11. Torrente de Vilella, 12. Barranco de Salanca, 13. Carretera de Bellver de Cerdanya a Pi, 14. Gravera de Pi, 15. Oliá, 16. Santa Eugenia, 17. Camino al serrat de Nas, 18. Can Vilella.



Los restos foliares se han analizado siguiendo las normas propuestas por HICKEY (1973), utilizándose para describir su nerviación la clasificación propuesta por TAKHTAJAN (1991); y proceden de los siguientes afloramientos ceretanos: San Salvador, Coll de Saig, Riu de Santa María, camino de Balltarga a Bor, Beders, torrente de la Bavosa, torrente de Vilella y barranco de Salanca (Fig. 1). Por otra parte, en este trabajo se nombran un conjunto de localidades fosilíferas en donde se colectaron restos foliares atribuibles a *Quercus*. Estas son: Santa Eugenia, Padró, el Pedró y Terra Negra, y seguramente desaparecieron al haberse realizado obras públicas en el lugar en donde se encontraban. Los ejemplares que corresponden a estas localidades se encuentran depositados en los distintos museos citados anteriormente.

Las hojas del género *Quercus* presentan un marcado polimorfismo que a veces crea errores en su determinación, encontrándose en el mismo ejemplar e incluso en la misma rama hojas muy diferentes. Todavía estos se hacen más acentuados si observamos hojas en estado juvenil y adultas, ya que suelen ser muy distintas.

Otro punto a considerar es que las especies del género *Quercus* hibridan con facilidad apareciendo individuos con caracteres mixtos. Esto también se pone de manifiesto en la morfología foliar.

Finalmente, debemos apuntar que hay especies del género que nos ocupa con hojas caducas, marcescentes y perennifolias; y que según las características ecológicas de la zona donde vivan presentarán un tipo de morfología u otra.

Todo esto complica mucho el estudio de este género que no se puede basar únicamente en caracteres foliares, siendo el primero en señalarlo DE CANDOLLE en 1862.

Como los restos fósiles del género *Quercus* que con mayor frecuencia se encuentran son los foliares, para facilitar su estudio desde un punto de vista paleobotánico, se han tratado de agrupar sus especies teniendo en cuenta la morfología de sus hojas en una serie de grupos sin valor taxonómico. Así, CAMUS (1945-1954), agrupa las

hojas del género en cinco grupos: acebiformes, lauriformes, castaniformes, lobulado-dentadas y recortadas.

La estructura epidérmica de las hojas del género *Quercus* tiene una gran importancia como ayuda para establecer la sistemática y filogenia de éste (KVACEK & WALTHER, 1989). Sin embargo, dado que únicamente hemos estudiado impresiones y compresiones sin la cutícula preservada, en el sentido de BARRON (1993), nuestro estudio se limita a morfologías foliares, lo cual nos produce un sesgo importante de información paleobotánica.

Una compresión se forma cuando el material vegetal original ha sido comprimido hasta quedar reducido a una película de carbón (SPICER, 1991). Cuando ésta ha desaparecido y, por supuesto, no hay cutícula conservada, quedando impreso en los sedimentos una réplica de lo que fue el resto vegetal, a ésta se le denomina impresión. Normalmente, las impresiones que hemos estudiado se formaron por causa de lavados y oxidaciones de las compresiones que tuvieron como consecuencia la desaparición de toda materia carbonificada.

Todos los restos megaflorísticos estudiados han sido comparados con ejemplares actuales, para lo cual hemos tomado como referencia los pliegos que se guardan en el Real Jardín Botánico de Madrid (CSIC), la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense de Madrid, "Jardin des Plantes de Paris", "Royal Botanical Gardens of Kew", así como otros restos fósiles que se encuentran en los museos y colecciones ya mencionados.

Por su parte, la separación de los palinomorfos fue llevada a cabo usando las técnicas de PHIPPS & PLAYFORD (1984), basadas en tratamiento ácido (HCl, HF y HNO<sub>3</sub>); y su concentración final fue estimada tras pasar el residuo resultante a través de tamices de 500, 250, 75, 50 y 12mm. La nomenclatura seguida para la descripción de los palinomorfos es la que se utiliza en el texto de SAENZ DE RIVAS (1978).

Los pólenes estudiados se conservan de forma duripártica, como una preservación de los com-

ponentes de las plantas en un estado esencialmente inalterado (SPICER, 1991). Es decir, la exina de los pólenes que hemos estudiado presenta una composición química que ha sufrido muy poca alteración.

## CONTEXTO GEOGRAFICO Y GEOLOGICO

La Cerdaña es una comarca que se encuentra localizada en los Pirineos Orientales y constituye una llanura alargada en sentido NE-SO con una altitud media de 1.100 m sobre el nivel del mar, atravesada en su parte norte por el río Segre (Figura 1).

Durante el Mioceno Superior, en esta zona se desarrolló una cuenca lacustre debido a los movimientos de la falla de la Tet (CABRERA et al., 1988), complejo sistema de fallas de historia estructural complicada. Como resultado de un importante movimiento vertical de las fallas más meridionales del sistema ya mencionado, la cuenca sufrió un basculamiento de unos 15-20° hacia el S (zona occidental) y SE (zona oriental) (ROCA, 1986), que tuvo como resultado una evolución subsidente, especialmente en la sub-fosa de Bellver en donde el grosor de los sedimentos es mayor (RIBERO et al., 1996).

Los materiales de tipo lacustre de esta zona se organizan en dos grandes unidades estratigráficas, apareciendo la megafloora y la microflora que se estudian en este trabajo básicamente en la Unidad Neógena Inferior, formada por la interacción de procesos aluviales y lacustres (ROCA, 1986), más concretamente en su tramo B, definido por ANADON et al. (1989) (Fig. 2).

La columna estratigráfica sintética de esta Unidad fue descrita por ANADON et al. (1989), y presenta en su tramo C (Fig. 2) una asociación diatomítica compuesta por más de 250 m de espesor de diatomitas y mudstones gris azulados o gris pálido con gran cantidad de materia orgánica. En esta unidad aparecen láminas intermedias de arenas con ostrácodos. Algunos de los niveles son ricos en fosfatos, o presentan nódulos aislados. Las facies diatomíticas tienen una fina laminación que puede ser relacionada con varvas estacionales de sedimentación.

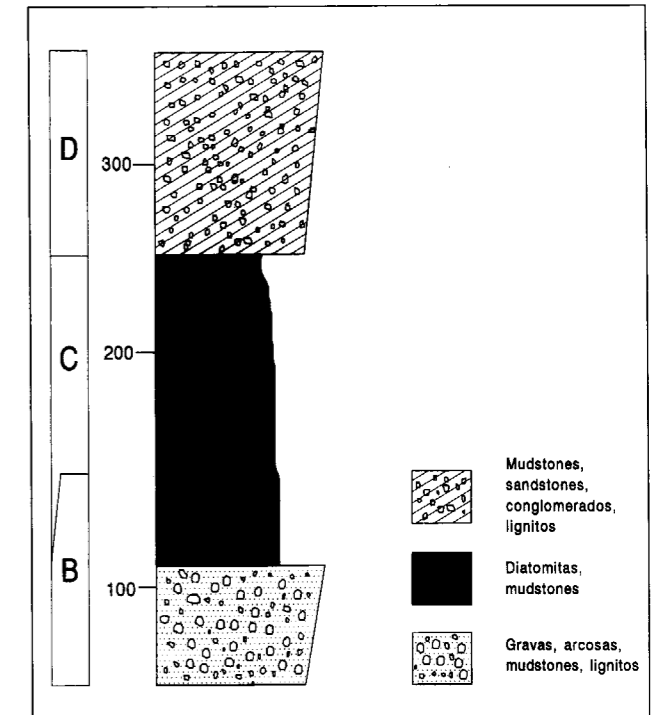


Fig. 2. Columna estratigráfica sintética de la Unidad Neógena Inferior según ANADON et al. (1989).

Desde un punto de vista paleontológico, en la Unidad Neógena Inferior se han reconocido un elevado número de afloramientos con mamíferos fósiles que han permitido datar esta Unidad como Vallesense (AGUSTI y ROCA, 1987). Fundamentalmente esta edad viene indicada por la presencia de *Dicerorhinus schleiermacheri* (KAUP) en la antigua mina de Estavar. El límite superior de los materiales de esta mina viene acotado por la presencia de *Amphicyon major pyrenaicus* DEPERET et REROLLE y *Chalicotherium grande* (LARTET), que no sobrepasan el Vallesense superior.

Restos asignables al género *Quercus* se han colectado en todos los afloramientos de la Unidad Neógena Inferior, menos en la gravera de Pi (Fig. 1). De una forma escasa se han hallado palinomorfos en el yacimiento de Can Vilella (Fig. 1), perteneciente a la Unidad Neógena Superior que está constituida exclusivamente por depósitos aluviales (ROCA, 1986), y datado como turoliense por AGUSTI y ROCA (1987) a partir de micromamíferos.

## SISTEMATICA

Orden FAGALES Engler, 1892  
 Familia FAGACEAE Dumortier, 1829  
 Subfamilia QUERCOIDEAE Schwarz, 1936  
 Género QUERCUS Linné, 1753

## MICROFLORA

*Quercus* sp.

Granos de polen asignables a este género han sido detectados en mayor o menor cantidad en todos los afloramientos muestreados. Estos son muy variables en cuanto aspecto, habiéndose encontrado varios tipos característicos y formas de transición entre ellos. En este trabajo se describen 5 tipos. Es de suponer que pertenecieran a las diferentes especies de quercíneas que poblaron la Cerdaña. Sin embargo, al ser pólenes anemófilos es posible que también provengan de lugares alejados y de especies no presentes en el área de estudio.

## Descripción:

a) tipo 1 (Lám. I, figs. 2a, 2b, 4): Granos 3-zonocolpados; prolatos en vista ecuatorial; triangular-anguloaperturados con contorno lobulado en vista polar; P=40,9-33,6 mm; E=23,6-25,45 mm; colpos con forma de barca adelgazados hacia los polos donde no se fusionan entre sí; máxima anchura de los colpos 7-5,45 mm; exina de aproximadamente 1 mm de grosor; sexina unas dos veces más gruesa que la nexina; téctum com-

pleto; infratéctum columelado; ornamentación escábrida o escábrido-verrucada.

Este tipo de polen ha sido determinado en todos los afloramientos de la Cerdaña, y es referible al grupo de *Q. robur* L. propuesto por BENTHEM et al. (1984), y a las especies parataxónicas: *Quercopollenites granulatus* NAGY y *Quercopollenites robur typus*; quizás también a *Quercopollenites petraea typus*.

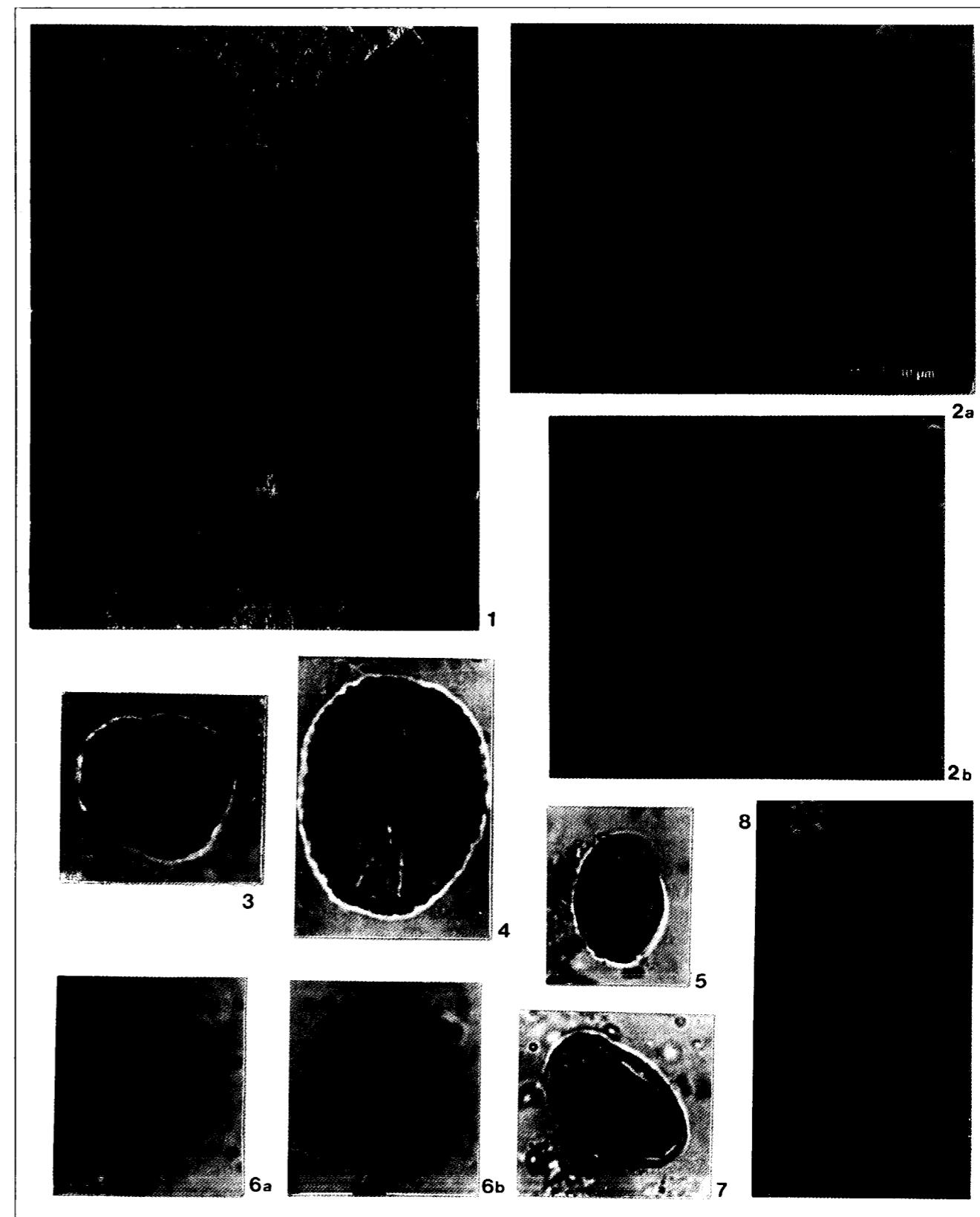
*Q. granulatus* se ha hallado en el Egeriense, Eggeburgiense, Badeniense y Pannoniense de Hungría; *Q. robur typus* ha aparecido en los sedimentos del Egeriense, Karpatiense Sarmatiense y Pannoniense inferior de Hungría; y *Q. petraea typus* en el Karpatiense, Badeniense, Sarmatiense, y Pannoniense de Hungría (NAGY, 1985).

Posiblemente pudiera relacionarse con *Q. hispanica* RER., especie descrita en la Cerdaña basándose en restos foliares como veremos más adelante, ya que morfológicamente se asemeja a la especie actual *Q. humilis* MILL., incluida dentro del grupo de *Q. robur* por BENTHEM et al. (1984).

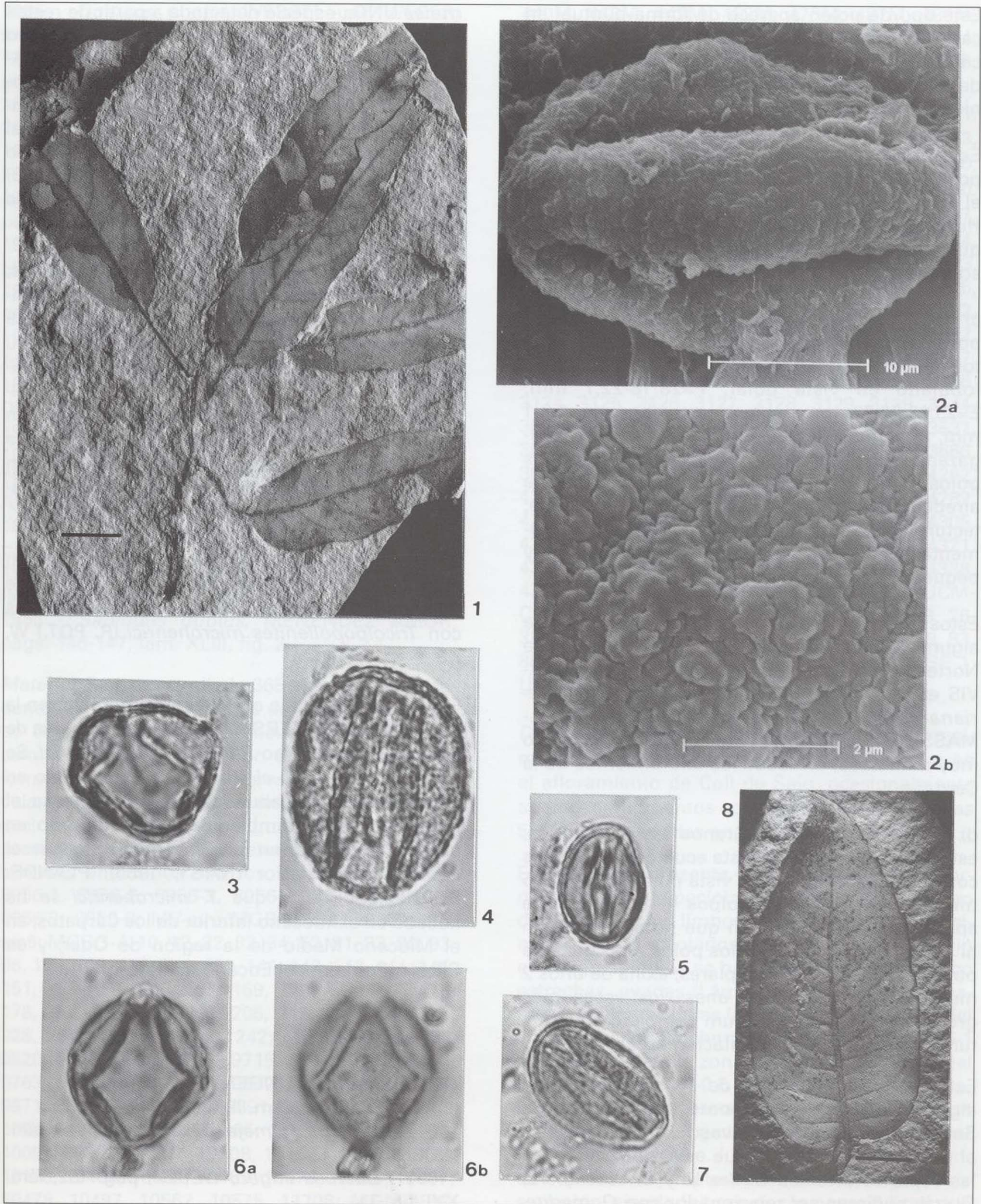
b) tipo 2 (Lám. I, fig. 7): Granos 3-zonocolpados; prolatos en vista ecuatorial; esférico-aperturados con contorno lobulado en vista polar; P=34,5 mm; E=24,5 mm; colpos en forma de barca adelgazados hacia los polos donde no se fusionan entre sí; máxima anchura de los colpos de aproximadamente 6 mm; exina=1 mm de grosor; nexina=sexina; téctum completo; infratéctum columelado; superficie de ligeramente escábrida a psilada.

## Lámina I

- Fig. 1. *Quercus drymeja* UNGER. MNCNV-4289. Coll de Saig.  
 Fig. 2a. *Quercus* sp. (tipo 1) Grano completo al M.E.B. Riu de Santa María.  
 Fig. 2b. *Quercus* sp. (tipo 2) Detalle de la ornamentación del ejemplar de la Fig. 2a al M.E.B.  
 Fig. 3. *Quercus* sp. (tipo 4) Barranco de Salanca. x 1.250.  
 Fig. 4. *Quercus* sp. (tipo 1) Beders. x 1.250.  
 Fig. 5. *Quercus* sp. (tipo 3) Torrente de Vilella. x 1.250.  
 Fig. 6a. *Quercus* sp. (tipo 3) Torrente de Vilella. x 1.250.  
 Fig. 6b. *Quercus* sp. (tipo 3) Torrente de Vilella. x 1.250.  
 Fig. 7. *Quercus* sp. (tipo 2) Barranco de Salanca. x 1.250.  
 Fig. 8. *Quercus drymeja* UNGER. CMV-s/n. Beders.  
 (Escala gráfica de las Figuras 1 y 8: 1 cm)









Este tipo de polen aparece de forma puntual en casi todos los afloramientos de la Cerdaña destacando el del barranco de Salanca y el del torrente de Vilella, siendo referible a la especie parataxónica *Tricolporopollenites asper* (TH. et PF.) W. KR.

Esta paraespecie, que ya fue citada en la Cerdaña por BALTUILLE et al. (1992), se ha encontrado en el Eggeburgiense, Karpatiense y Badeniense de Hungría (NAGY, 1985). PLANDEROVA (1990) dice que esta especie es común en todo el Mioceno, sobre todo en el Mioceno Superior de Europa.

c) tipo 3 (Lám. I, figs. 6a, 6b): Granos 3-zonocolporoidados; de prolato-esferoidales a subprolotos en vista ecuatorial; esferoidales con contorno lobulado en vista polar; P=28,18-22,7 mm; E=23,63-22,72 mm; colpos estrechos de 1,3-1 mm, a menudo geniculados; no se aprecia adelgazamiento progresivo de los colpos hacia los polos, donde no se fusionan entre sí; exina de alrededor de 0,9 mm de espesor; sexina nexina; téctum completo; infratécum columelado; ornamentación escábrida granulada; gránulos muy pequeños.

Estos palinomorfos se pueden comparar a los de algunos *Quercus* actuales de Asia Oriental y de Norteamérica descritos por LIEUX (1980) y JARVIS et al. (1992): *Q. virginiana* MILL., *Q. rhoderiana* HANZ.-MASS. y *Q. senescens* HANZ.-MASS. Se han determinado, aunque de forma no muy numerosa, en todos los afloramientos de la Cerdaña.

d) tipo 4 (Lám. I, fig. 3): Granos 3-zonocolpados; esférico-subprolotos en vista ecuatorial; esféricos con contorno lobulado en vista polar; P=28-75,25 mm; E=25-23,75 mm; colpos geniculados de aproximadamente 2,5 mm que no se adelgazan ni se fusionan entre sí en los polos; presencia de poroides en algunos ejemplares; exina de unos 2 mm de espesor; sexina unas dos veces más gruesa que la nexina; téctum completo; infratécum columelado; ornamentación escábrida.

Estos pólenes aparecen de forma puntual en algunos afloramientos como el barranco de Salanca y la mina de Sanavastre, y son referibles al tipo *illex-coccifera*, ya que es el que presentan las especies actuales *Q. ilex* L. y *Q. coccifera* L. Quizás pudieran ser relacionados con *Q. medite-*

*rranea* UNG., especie detectada a partir de restos foliares en los afloramientos de la Cerdaña, como se verá más adelante. Esta especie según KVAČEK & WALTHER (1989), se encuentra relacionada filogenéticamente con *Q. coccifera*. Se mencionan pólenes de *Q. coccifera* en el Villafranquiense, y de *Q. ilex* en el Cuaternario medio (PONS & VERNET, 1971). BESSEDIK (1985) citó con duda este tipo polínico en las minas de lignito ceretanas de Sanavastre y Sampsor.

e) tipo 5 (Lám. I, fig. 5): Granos 3-zonocolpados; prolotos en vista ecuatorial; esféricos con contorno lobulado en vista polar; P=24,5 mm; E=15,9 mm; colpos con forma de barca, presentando su zona de máxima anchura en el ecuador, aproximadamente 3,6 mm; no existe fusión de los colpos en los polos; a veces colpos geniculados; en algunas ocasiones existencia de poroide; exina de »1-0,6 mm de espesor; nexina=sexina; téctum completo; superficie psilada o levemente escábrida.

Estos pólenes aparecen de forma puntual en algunos afloramientos como los del barranco de Salanca y torrente de Vilella. Son relacionables con *Tricolpopollenites microhenrici* (R. POT.) W. KR.

Esta paraespecie fue citada por primera vez en la Cerdaña por JELGERSMA (1957) en las minas de Prats y Estevar como *Pollenites microhenrici*. Se ha hallado en todo el Neógeno, apareciendo en Hungría picos de abundancia del Egeriense al Mioceno Medio, también se ha encontrado en bajas cantidades en el Sarmatiense y en el Pannoniense inferior (NAGY, 1985). PLANDEROVA (1990), dice que *T. microhenrici* se ha hallado en el Mioceno Inferior de los Cárpatos, en el Mioceno Medio de la región de Oder, y en Silesia, Polonia, del Eoceno al Plioceno.

#### MEGAFLORA

*Quercus drymeja* UNGER, 1847 (Lám. I, figs. 1, 8; Lám. II, figs. 2-4, 6-7)  
\*1847 - *Quercus drymeja*, UNGER, pág. 113, lám. XXXII, figs. 1-4.  
\*1851 - *Quercus ungeri*, WEBER, pág. 132, lám. XXI, fig. 11.

1855 - *Quercus ungeri*, WESSEL und WEBER, pág. 170, lám. XIX, fig. 3.  
\*1859 - *Quercus laharpii*, GAUDIN et STROZZI, pág. 44, lám. III, figs. 5-10.  
1884-1885 - *Quercus praeilex*, REROLLE, págs. 265-267, lám. IX, fig. 1.  
1945 - *Quercus praeilex*, VILLALTA y CRUSAFONT, pág. 344.  
1945 - *Salix tenera*, VILLALTA y CRUSAFONT, págs. 344, 348, lám. VIII.  
1947 - *Salix tenera*, SOLE SABARIS y LLOPIS LLADÓ, pág. 94, lám. XV.  
1950 - *Quercus praeilex*, MENENDEZ AMOR, pág. 161.  
1955 - *Andromeda protogaea*, MENENDEZ AMOR, pág. 165, lám. XXXVII, fig. 3.  
1955 - *Dryandroides* aff. *banksiaefolia*, MENENDEZ AMOR, págs. 105-106, lám. XXXIII, fig. 3.  
1955 - *Ficus lanceolata*, MENENDEZ AMOR, págs. 103-104, lám. XXXII, fig. 2.  
1955 - *Mahonia malheurensis*, MENENDEZ AMOR, págs. 119-120, lám. XXIX, fig. 1.  
1955 - *Quercus praeilex*, MENENDEZ AMOR, págs. 84-85, lám. XXVIII, fig. 3.  
1955 - *Salix tenera*, MENENDEZ AMOR, pág. 96, lám. XXIX, fig. 1.  
1955 - *Sapindus dubius*, MENENDEZ AMOR, págs. 146-147, lám. XLIII, fig. 2.

*Material:* Se han estudiado 365 ejemplares procedentes de los afloramientos de Beders, barranco de Salanca, torrente de Vilella, Coll de Saig y camino de Balltarga a Bor. Estos aparecen en forma de impresión y compresión sin restos cuticulares, encontrándose en un estado de conservación diverso (existen algunos perfectamente preservados y otros muy deteriorados). Los especímenes analizados son los siguientes: A-8955, 8956-1, 8956-2, 8956-3, 8956-4, 8956-5, 8956-6, 8956-7, 8956-8; MV-s/n; MGB-29295, 29309, s/n, s/n6; MGBG-A-10, 12, 22, 32, 34, 52, 81, 83, 90, 93, 96, 105, 108, 112, 114, 130, 141, 142, 143, 144, 145, 151, 153, 161, 166, 167, 169, 170, 171, 174, 175, 178, 197, 198, 199, 203, 205, 213, 219, 222, 227, 228, 234, 236, 237, 240, 242; MGBV-9461, 9484, 9520, 9521, 9522, 9697, 9715, 9716, 9754, 9756, 9763, 9844, 9846, 9851, 9860, 9864, 9866, 9867, 9871, 9875, 9881, 9888, 9891, 9900, 9905, 10047, 10049, 10069, 10073, 10085, 10087, 10088, 10096, 10097, 10106, 10107, 10108, 10159, 10164, 10172, 10178, 10466, 10467, 10469, 10473, 10476, 10477, 10478, 10497, 10562, 10575, 11708; MGM-48M,

440M, 443M, 449M, 452M, 478M, 487M, 489M, 973M, 1064M, 1095M; MGSB-21767, 21774, 31199, 31200<sub>1-6r</sub>, 31207, 31308, 31317, 31325, 31350, 31371, 31383, 36191, 36202, 40320<sub>1-2r</sub>, 40402<sub>1-2r</sub>, 40403<sub>1-2r</sub>, 40404<sub>1-2r</sub>, 40408, 40417<sub>1-3r</sub>, 40421, 40425<sub>1-2r</sub>, 40427, 40431, 40436<sub>1-5r</sub>, 40442<sub>1-10r</sub>, 40443, 40446, 40453, 44388<sub>1-3r</sub>, 44389<sub>1-2r</sub>, 45478, 47030, 48118, 48125<sub>1-2r</sub>, 48148, 48157, 48159<sub>1-2r</sub>, 48160, 48165, 48183, 48459<sub>1-4r</sub>; MNCNV-147, 267, 294, 297, 308, 322, 336, 341, 356, 357, 382, 383, 386, 434, 440, 441, 442, 443, 455, 457, 458, 472, 514, 523, 528, 529, 530, 535, 538, 539, 658, 673, 675, 676, 692, 694, 699, 707, 720, 738, 757, 847, 849, 862, 847, 892, 910, 938, 949, 951, 962, 988, 1003, 3022, 3031, 3032, 3034, 3036, 3037, 3047, 3054, 3057, 3058, 3060, 3065, 3069, 3075, 3080, 3081, 3116, 3124, 3125, 3126, 3127, 3128, 3129, 3139, 3144, 3502, 3505, 3509, 3519, 3521, 3522, 3536, 3537, 3540, 3578, 3607, 3642, 3647, 3657, 3665, 3666, 3668, 3678, 3681, 4256, 4256, 4260, 4261, 4262, 4264, 4265, 4268, 4269, 4270, 4279, 4280, 4282, 4289, 4290, 4293, 4294, 4297, 4300, 4302, 4305, 4308, 4313, 4315, 4316, 4318, 4319, 4320, 4321, 4329, 4330, 4333, 4334, 4335, 4336, 4337, 4338, 4339, 4340, 4840, 4878; UABT-Z6a, Z6b, 1; UCM-CBEDERS-14, 19, 20, 26, 32; UCM-CBLL-8, 9, 26, 39; UCM-CCS-45, 49, 58, 59, 61, 64, 68, 75, 79, 83, 85; UCM-CS-003, 005, 009, 013; UCM-CSE-1; UCM-CTV-007.

*Descripción:* *Quercus drymeja* aparece normalmente como restos foliares aislados, aunque en el afloramiento de Coll de Saig, ocasionalmente aparecen fragmentos apicales de ramas con unas 5-4 hojas insertadas en ellas (Lám. I, fig. 1).

Esta especie presenta hojas coriáceas lauriformes largamente pecioladas; peciolo recto y largo de hasta 2 cm; limbos polimórficos, predominando los lanceolados (Lám. II, figs. 6-7), sin embargo, también se han hallado formas elíptico estrechas, ovadas (Lám. II, figs. 2-4) y más raramente, oblanceoladas (Lám. I, fig. 8); longitud del limbo: 10-4 cm; anchura máxima del limbo: 3,5-1 cm; distancia de la zona de máxima anchura del limbo a la base: 3,1-0,6 cm; ápice siempre agudo, pudiendo encontrarse acuminado; base de aguda a cordada; margen generalmente aserrado en su tercio superior (Lám. I, fig. 8; Lám. II, fig. 4) (aunque aparecen ejemplares con un mayor grado de serración, siendo la base por lo general lisa), con

sólo 1 ó 2 dientes en posición apical (Lám. II, fig. 2) o, en algunas ocasiones, liso (Lám. 2, fig. 3); dientes del margen con ángulo apical agudo encontrándose siempre algo distanciados los unos de los otros, esta distancia siempre se reduce hacia el ápice; nerviación rectipinnada en la zona apical y curvipinnada en la basal (mixta craspedódroma según HICKEY, 1973), aunque a causa de la morfología del margen aparecen ejemplares rectipinnados simples (si el limbo se encuentra dentado en todo su perímetro) (Lám. II, fig. 7) y curvipinnados simples (si el limbo presenta el margen liso) (Lám. II, fig. 3); nervio central robusto y derecho; (7)10-15 pares de nervios secundarios con curso derecho y/o uniformemente curvado (si terminan en los dientes del margen), y/o abruptamente curvado (si el nervio se une con el inmediatamente superior en campodromía); ángulo de divergencia usualmente de  $\approx 45^\circ$ , aunque aparecen ejemplares con ángulos de divergencia agudos  $>45^\circ$  y rectos (esto último acaece en ejemplares con limbos muy anchos); generalmente variación del ángulo de divergencia hacia el ápice, donde se hace más estrecho, y hacia la base, donde éste se agranda, no obstante se han colectado ejemplares con esta característica al revés; nervios intersecundarios en los ejemplares con el margen liso o casi liso; nerviación terciaria percurrente con curso ahorquillado o recto, que forma ángulos rectos con los nervios secundarios, siendo oblicua frente al nervio medio; nerviación de rango inferior a la terciaria reticulada ortogonalmente formando areolas poligonales bien desarrolladas.

**Observaciones:** *Q. drymeja* es una especie que se conoce únicamente en estado fósil a partir de restos foliares, aunque GRANGEON (1958), atribuye a esta especie una cúpula que no se

encuentra en conexión orgánica con las hojas por él estudiadas, y que compara con la especie actual *Q. serrata* THUNB. En los afloramientos ceretanos por el momento no se ha hallado ninguna cúpula asignable al género *Quercus* que pueda ratificar las observaciones de GRANGEON (1958).

Los primeros en citar la especie en estudio en el Mioceno Superior de la Cerdaña fueron VILLALTA y CRUSAFONT (1945), sin embargo no tuvieron en cuenta su marcado polimorfismo foliar citando erróneamente a la especie *Salix tenera* AL. BR., a partir de ejemplares con márgenes lisos.

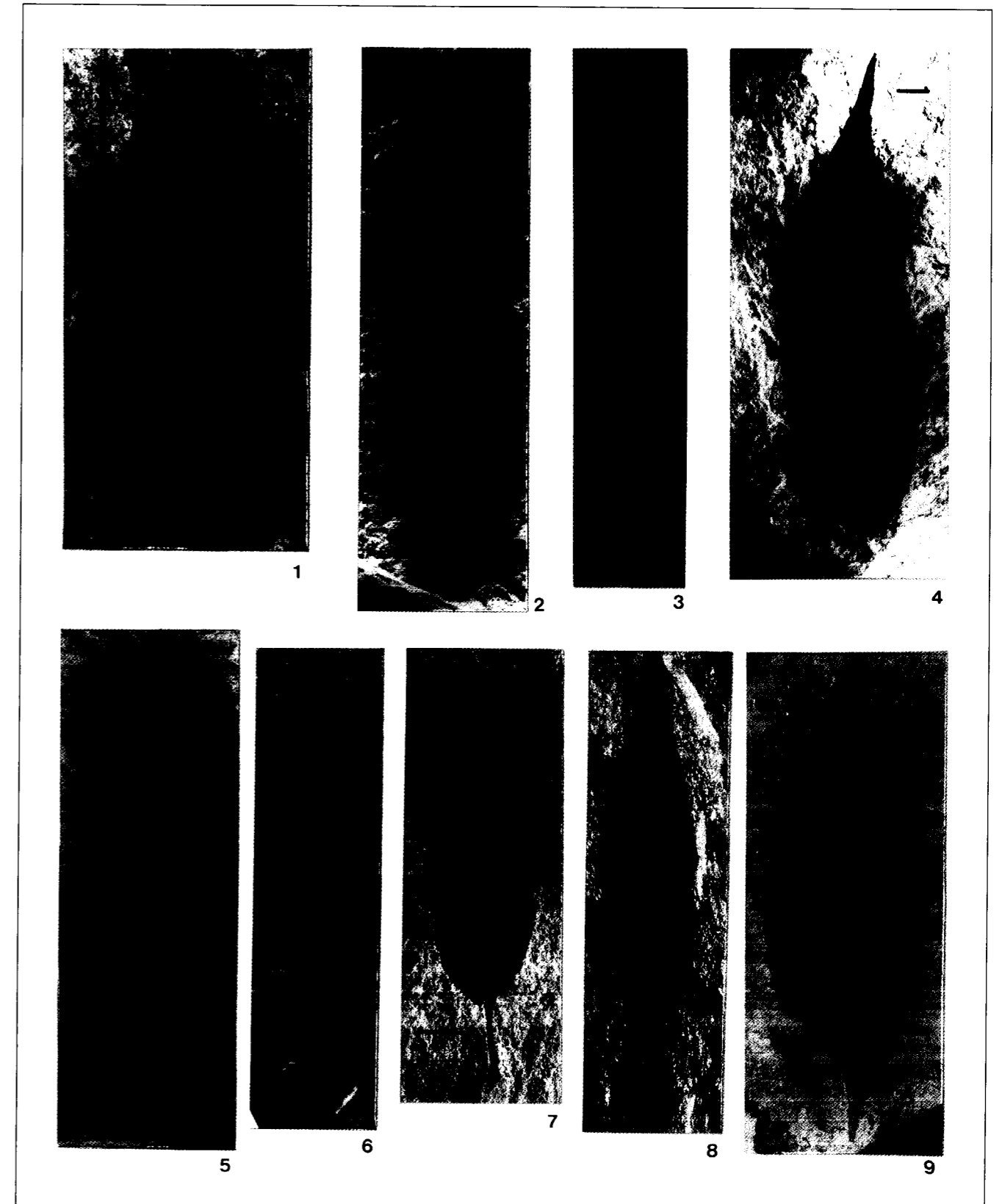
Con anterioridad, REROLLE (1884-1885), había citado la especie *Q. praeilex* SAP., a partir de especímenes ancho ovados asignables tanto a *Q. mediterranea* UNG., como a la especie que estamos estudiando.

También erróneas son las citas de MENENDEZ AMOR (1955), de *Andromeda protogaea* UNG., *Dryandroides* aff. *banksiaefolia* HR., *Ficus lanceolata* Hr., *Mahonia malheurensis* ARNOLD y *Sapindus dubius* UNG., ya que fueron hechas a partir de ejemplares ceretanos atribuibles a *Q. drymeja*.

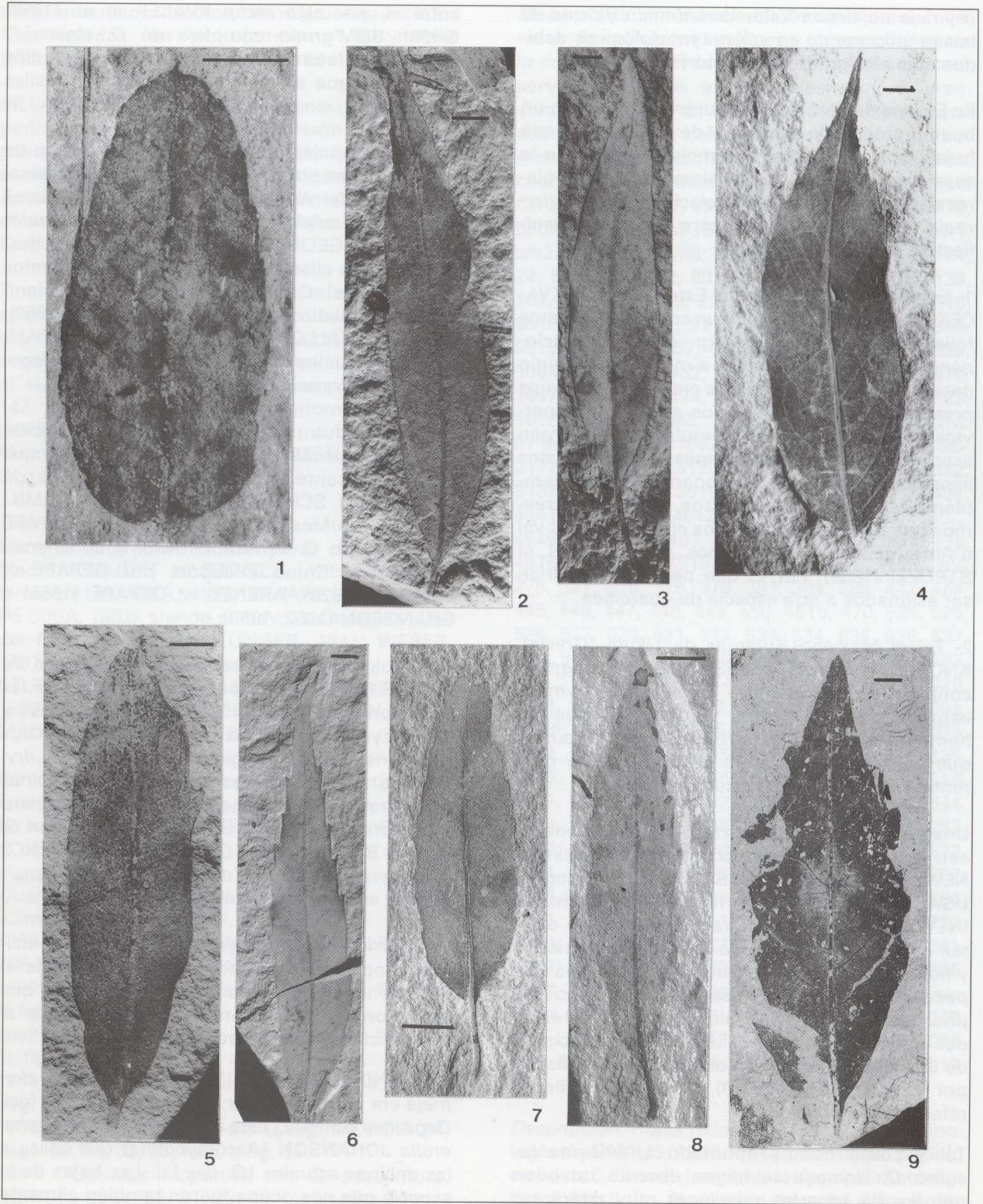
Especies sinónimas de *Q. drymeja* son *Q. ungeri* (WEBER, 1851; WESSEL und WEBER, 1855), especie invalidada y considerada como la variedad *ungeri* de *Q. drymeja* por GAUDIN et STROZZI (1959); y *Q. laharpii* GAUD., también invalidada y constituida en variedad de *Q. drymeja* por BOULAY (1887). Este último autor enuncia otra variedad de *Q. drymeja*, la var. *integribasis*. Nosotros pensamos que las variedades de *Q.*

#### Lámina II

- Fig. 1. *Quercus mediterranea* UNGER. MGBV-9878. Beders.  
 Fig. 2. *Quercus drymeja* UNGER. MGBV-9881. Coll de Saig.  
 Fig. 3. *Quercus drymeja* UNGER. MGBV-9484. Coll de Saig.  
 Fig. 4. *Quercus drymeja* UNGER. MGBV-9522. Coll de Saig.  
 Fig. 5. *Quercus mediterranea* UNGER. MGBV-10035. Coll de Saig.  
 Fig. 6. *Quercus drymeja* UNGER. MGM-1064M. Coll de Saig.  
 Fig. 7. *Quercus drymeja* UNGER. MNCNV-434. La Cerdaña, sin localidad.  
 Fig. 8. *Quercus hispanica* RÉROLLE. MNCNV-276. Bor.  
 Fig. 9. *Quercus hispanica* RÉROLLE. MNCNV-s/n. Torrente de Vilella.  
 (Todas las Figuras con escala gráfica de 0,5 cm, menos la Figura 5 que tiene 0,25 cm)









*drymeja* no tienen valor taxonómico ya que se basan únicamente en valores morfológicos debidos a un alto grado de polimorfismo foliar.

En Europa debieron existir durante el Mioceno un buen número de especies de quercíneas con hojas morfológicamente semejantes a las de la especie que nos ocupa. Usualmente, los ejemplares de éstas se atribuyen o relacionan con *Q. drymeja*. A continuación vamos a poner de manifiesto a dos de estos casos:

1- En el Mioceno Inferior del Este de Bosnia KVAČEK et al. (1993), describen un conjunto de restos foliares como *Quercus* ex gr. *drymeja*, relacionándolos con los colectados a mediados del siglo pasado en el Val d'Arno. Los ejemplares bosnios presentan más de 15 nervios secundarios, nervios intersecundarios en ejemplares con margen aserrado, peciolo corto y formas obovadas. Estos aspectos no permiten relacionarlos con los ejemplares estudiados por nosotros, y tampoco creemos que puedan serlo con los ejemplares del Val d'Arno descritos y figurados por GAUDIN et STROZZI (1859). Por lo que pensamos podrían ser asignados a otra especie de quercínea.

2- En el Mioceno Superior de Likudi (Grecia), KNOBLOCH & VELITZELOS (1986) describen un conjunto de restos como *Quercus* cf. *drymeja*, estos presentan dientes vulnerantes, que no hemos hallado en nuestros ejemplares, por lo que seguramente se trate de una especie diferente a la que estamos estudiando.

Una especie fósil que quizás pueda relacionarse con la especie que nos ocupa es *Q. consimilis* NEWB., del Mioceno de Bridge Creek (Oregón, USA), descrita a partir de restos foliares y frutos (NEWBERRY, 1898). Desgraciadamente, no existen estudios cuticulares de la especie americana y no hemos encontrado frutos en la Cerdaña que puedan por el momento asegurar la existencia de una verdadera relación filogenética entre estas dos especies. La cita de *Q. drymeja* en el Mioceno de Castello's Ranch (Colorado, USA) realizada por LESQUEREUX (1878), pudiera realmente referirse a *Q. consimilis*.

Tal y como hemos apuntado anteriormente, como *Q. drymeja* se hayan descrito un buen número de especies quercíneas muy diferentes

entre sí, por esta razón KVACEK et al. (1993) hablan del "grupo complejo de *Q. drymeja*", haciendo referencia a la carencia de estudios cuticulares que existe en los ejemplares fósiles colectados.

Debemos señalar que *Q. drymeja* fue citado de forma errónea por HEER (1861, 1868, 1878), en el Paleógeno del Artico a partir de restos foliares que no se pueden relacionar con la especie miocena (GRANGEON, 1958). También hay que destacar que las citas de *Q. drymeja* en yacimientos europeos del Oligoceno superior y Mioceno Inferior y Medio realizadas por UNGER (1850), DEPAPE et FALLOT (1928) y ARENES et DEPAPE (1956), las cuales no se pueden considerar seguras al no venir acompañadas por figuras.

*Q. drymeja* fue relacionado por UNGER (1850), con *Q. xalapensis* HUMB. & BOND., encina que vive actualmente en Sierra Madre (México); con *Q. lancifolia* SCHLECHT. y *Q. sartorii* LIEMB., también de México, por ARENES et DEPAPE (1956); y con *Q. serrata* THUMB. y *Q. sinensis* BURGE, de China y Japón, por DEPAPE et FALLOT (1928), ARENES et DEPAPE (1956) y GRANGEON (1952, 1958).

Nosotros después de revisar la bibliografía de CAMUS (1936-1954) y de analizar pliegos de las colecciones del "Jardin des Plantes de París" y del "Royal Botanical Gardens of Kew", por sus características morfológicas creemos que *Q. drymeja* se encuentra relacionado con las encinas del Extremo Oriente incluidas en el subgénero *Cyclobalanus* (ÖERST.) SHN., en especial con *Q. salicina* BL., del Japón; *Q. bambusaefolia* HENCE y *Q. myrsinaefolia* BL., de China; y *Q. chapensis* HICKEL et CAMUS, de Indochina.

Posiblemente *Q. drymeja* descendiera de quercíneas tropicales o subtropicales que durante el Paleógeno habitaron en la región Tetiana, y que evolucionaron posteriormente, adaptándose al cambio climático del Neógeno.

FERNANDEZ MARRON (1978), indicó que *Q. drymeja* era parasitado por hongos del género fósil *Depazites* GEINITZ, éste es idéntico a *Mycosphaerella* JOHANSON (Ascomycotina) que ataca a las encinas actuales (*Q. ilex* L.). Las hojas de la especie que nos ocupa fueron también alimento

para numerosos insectos, como prueban las huellas dejadas en el ejemplar MGBV10088 (VILLALTA y CRUSAFONT, 1945, lám. VIII).

VILLALTA (1957) detectó la presencia de ácaros a partir de agallas que aparecieron fosilizadas sobre un ejemplar de la especie que estamos estudiando. Este autor las describió como *Eriophyes vilarrubiae*, que por el momento se ha detectado únicamente en el Vallesense de la Cerdaña y sobre *Q. drymeja*.

Finalmente, hay que apuntar que esta especie aparece en muchos casos parasitada por insectos, como demuestran las agallas producidas por cecidiómidos (*Contarinia* o *Arnoldia*) (DIEGUEZ et al., 1996) que presenta el ejemplar MNCNV-147. Estas cecidias fueron anteriormente determinadas como *Hysterium labyrinthiforme* UNG. (Ascomycotina) (MENENDEZ AMOR, 1955, pág. 34, lám. XIV, fig. 1).

**Distribución:** La especie que nos ocupa se distribuye estratigráficamente a partir del Mioceno Medio (GAUDIN et STROZZI, 1859) hasta el Plioceno (ALMERA, 1894; DEPAPE, 1922; SANZ DE SIRIA, 1982), siendo el mayor número de citas del Mioceno Superior (UNGER, 1847; WEBER, 1851; MASSALONGO et SCARABELLI, 1859; STUR, 1867; BOULAY, 1887; ETTINGSHAUSEN, 1892; GRANGEON, 1952; GRANGEON, 1953; MÄDLER & STEFFENS, 1979).

Parece que *Q. drymeja* fue una especie típica de Europa y Asia Menor, ya que hasta el momento no hay citas fidedignas de Asia Central y Oriental ni de América.

*Quercus hispanica* REROLLE, 1884-1885

(Lám. II, figs. 8-9; Lám. III, figs. 1-3)

\*1884-1885 - *Quercus hispanica*, REROLLE, págs. 268-274, lám. VI, figs. 1-11.

1892 - *Quercus etymodris*, BOULAY, pág. 65, lám. V, fig. 8.

1892 - *Quercus scilliana*, BOULAY, pág. 68, lám. III, fig. 4.

1955 - *Myrica vindobonensis*, MENENDEZ AMOR, pág. 88, lám. XX, fig. 2.

1981 - *Quercus hispanica* aff. *Q. faginea*, ROIRON, págs. 29, 31, 33, 35, lám. I, fig. 15.

1981 - *Quercus hispanica* aff. *Q. sessiliflora*, ROIRON, págs. 29, 31, 33, 35, lám. I, fig. 16.

**Material:** Se han estudiado 309 ejemplares foliares en forma de impresiones y compresiones sin la cutícula preservada, siendo el estado de conservación de los especímenes muy diverso, como en el caso de *Q. drymeja*. La especie que nos ocupa se ha colectado en todos los afloramientos con macroflora de la zona de estudio. Los ejemplares analizados son los siguientes: CA-8957-1, 8957-2, 8957-3, 8957-4, 8957-5, 8957-6, 8957-7, 8957-8; MGB-28730, 29357, 29545, s/n1, s/n2, s/n3, s/n4, s/n5; MGBG-A-6, 7, 18, 19, 20, 21, 24, 50, 53, 54, 72, 80, 91, 98, 100, 121, 124, 138, 162, 182, 228, 229, 231; MGBV-9475, 9511, 9516, 9518, 9708, 9731, 9732, 9742, 9766, 9768, 9848, 9879a, 9879b, 9907, 10030, 10033, 10034, 10039, 10043, 10051, 10132, 10148, 10152, 10464, 10470, 10471, 10472, 10474, 10475, 10485, 10517, 10523, 10565; MGM-349M, 390M, 439M, 441M, 442M, 971M 1, 1046M, 1062M, 1063M, 1096M; MGSB-21772<sub>1-3</sub>, 31015, 31201, 31202<sub>1-2</sub>, 31313, 31322, 31375, 31384<sub>1-2</sub>, 36191, 40314, 40316<sub>1-3</sub>, 40404, 40411<sub>1-3</sub>, 40424<sub>1-3</sub>, 40426<sub>1-2</sub>, 40443<sub>1-7</sub>, 40446, 44390<sub>1-2</sub>, 45467, 45468, 45469, 47031, 47034, 47038, 48134, 48155, 48161<sub>1-2</sub>, 48164, 48170, 48461<sub>1-2</sub>; MNCNV-276, 327, 376, 378, 379, 381, 384, 385, 442, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451b, 470, 524, 525, 526, 527, 529, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 540, 541, 542, 663, 666, 668, 671, 672, 678, 683, 728, 774, 847, 946, 2544a, 3017, 3018, 3019, 3020, 3021, 3024, 3026, 3027, 3029, 3030, 3035, 3039a, 3039b, 3040, 3048, 3064, 3076, 3077, 3078, 3079, 3082, 3113, 3114, 3115, 3119, 3133, 3134, 3135, 3136, 3137, 3138, 3146, 3500, 3506, 3508, 3516, 3517, 3523, 3530, 3532, 3533, 3535, 3538, 3544, 3554, 3556, 3568, 3680, 3683, 4250, 4251, 4252, 4253, 4254, 4259, 4260, 4263, 4266, 4272, 4273, 4274, 4275, 4276, 4277, 4278, 4283, 4286, 4287, 4288, 4291, 4292, 4295, 4296, 4298, 4304, 4306, 4307, 4309, 4310, 4311, 4314, 4317, 4320, 4322, 4323, 4324, 4325, 4327, 4328, 4331, 4332, 4341, 4399, 4426, 4436, 4532, 4588, 4606, 4607, 4806, 4807, 4837, 4838, 4839, 5044; UABT-27, Z2, s/n; UCM-CCS-7, 10, 33, 43, 46, 73; UCM-CS-010, 012, 014; UCM-CBEDERS-13, 11, 12, 17, 23, 35; UCM-CBII-15; UCM-CTV-001, 003, 008, 009, 015, 017, 019, 044.

**Descripción:** Hojas recortadas (según la terminología de CAMUS, 1936-1954); pecioladas, peciolo de hasta 0,8 cm de longitud; forma del limbo elíptica (Lám. II, fig. 9), elíptico-estrecha (Lám II, fig.

8), ovada (estrecho-ovada y lanceolada) u obovada (oblanceolada, ancho-obovada y estrecho-obovada) (Lám. III, figs. 1-3); longitud del limbo: 8,8-2,5 cm; anchura máxima: 3,3-1,3 cm; distancia de la zona de máxima anchura del limbo a la base: 5,8-0,9 cm; ápice de agudo a redondeado, a veces truncado; base aguda, cuneada, obtusa o cordada, siendo a veces asimétrica; margen aserrado con dientes grandes y redondeados, por esta razón esta especie ha sido calificada de sublobulada; presencia de mucrones en el ápice de los dientes; 3-7 dientes en cada lado del margen del limbo dependiendo del tamaño de éste; en algunos ejemplares el margen es liso en el tercio basal, en las hojas no oblanceoladas es liso en la zona apical; nerviación recti y curvipinnada a la vez (mixta craspedódroma según HICKEY, 1973); nervio medio robusto; 7-10 nervios secundarios curvados abruptamente en las zonas de margen liso (base y ápice) y uniformemente curvados o derechos en el resto de la hoja; ángulo de divergencia de >45°, aunque los nervios secundarios más basales pueden tenerlo >45° e incluso recto; nerviación terciaria percurrente con curso derecho o ahorquillado, siendo oblicua frente al nervio medio; nerviación de orden inferior a la terciaria reticulada ortogonalmente formando areolas poligonales bien desarrolladas.

**Discusión:** El primero en describir esta especie fue REROLLE (1884-1885), haciéndolo a partir de impresiones colectadas en la Cerdaña. Este autor analizó detalladamente su morfología describiendo a su vez tres variedades según la forma que presentaba el limbo de sus ejemplares. Estas son:

a) variedad *genuina*, con forma elíptica u obovada.

b) variedad *cuspidata*, con ápices muy desarrollados y de margen liso, sobresaliendo de forma patente por encima de las zonas dentadas de la hoja.

c) variedad *expansa*, con forma oblanceolada.

Consideramos a estas tres variedades sin valor taxonómico debido al marcado polimorfismo foliar al que hemos aludido. Además, se han colectado ejemplares con contornos redondeados y ápice truncado y ejemplares elíptico estre-

chos, los cuales no se pueden encasillar morfológicamente en ninguna de estas tres variedades (MNCNV-276 y MGBV-9516) (Lám. II, fig. 8).

En su trabajo de 1884-1885, REROLLE asemeja a *Q. hispanica* con la variedad *canonica* MASS., de *Q. etymodrys* UNG., descrita en el Mioceno Superior de Senigalia (MASSALONGO et SCARABELLI, 1859). Pensamos que REROLLE (op. cit.) pasó por alto el ya mentado polimorfismo del que hace gala el género *Quercus*, pues esta variedad no es más que un tipo morfológico de una especie de roble que también debería incluir las especies descritas en Senigalia por MASSALONGO et SCARABELLI (1859): *Q. pseudocastanea* GOEPP., *Q. etymodrys* var. *entelea* MASS., *Q. etymodrys* var. *amphypsia* MASS., *Q. etymodrys* var. *microdonta* MASS., *Q. cornaliae* MASS., *Q. cardanii* MASS., *Q. cardanii* var. *latifolia* MASS., *Q. colonæ* MASS., *Q. faloppiana* MASS., *Q. senogalliensis* MASS. y *Q. venturii* MASS.

Más adelante, BOULAY (1892), en el Plioceno de Mont Dôre, cometió el mismo error que MASSALONGO et SCARABELLI (1859), al describir seis especies de robles a partir de restos foliares polimórficos. En estas localidades seguramente no se debería haber descrito más que una, o a lo sumo dos especies de roble.

DEPAPE (1912), describió como *Q. mirbeckii* (= *Q. canariensis* WILLD.), a un conjunto de restos foliares procedentes del Plaisanciense de Saint Marcel (Francia). Utilizando caracteres meramente morfológicos, el autor anteriormente citado considera especies análogas a *Q. mirbeckii*: *Q. mirbeckii* var. *antiqua* SAP. (*Q. amplifolia* SAP.), *Q. lucumonum* GAUD., *Q. scilliana* GAUD., *Q. pseudocastanea*, *Q. parlatorii* GAUD., *Q. etymodrys*, *Q. cardanii*, *Q. roburoides* GAUD., *Q. senogalliensis*, *Q. furuhjelmi* HR. y *Q. hispanica*. DEPAPE (1912), no dió ninguna razón acerca de por qué relacionaba a todas estas especies con la especie actual *Q. canariensis*, ya que muchas de ellas presentan características morfológicas diferentes.

En 1922, DEPAPE cambió de opinión tras consultar el texto de DE LA VAULX et MARTY (1920). Estos autores consideraban arriesgado relacionar todos estos tipos foliares sólo con *Q. canariensis*,

agrupando todos los restos foliares fósiles de robles con hojas sublobuladas o recortadas en un grupo al que denominaron "la serie del *Q. hispanica*", donde se incluyeron ejemplares con características morfológicas similares al ya mencionado *Q. canariensis*, y a las especies *Q. petraea* (MATTUSCHKA) LIEBL. (= *Q. sessiliflora* SM.) y *Q. faginea* LAMK. (= *Q. lusitanica* WEBB). Esta misma opinión fue mantenida por GRANGEON (1953, 1958). Sin embargo, no estamos de acuerdo en asignar a esta "serie" los ejemplares figurados por este último autor (1958, lám.-text. IX, figs. 1,3), ya que parecen representar otro tipo de quercínea.

Debemos expresar que, dado el polimorfismo que presentan las especies del género *Quercus*, no es difícil, al analizar restos foliares asignables a robles con hojas lobuladas o recortadas procedentes del Mioceno Superior o Plioceno de Europa, encontrar ejemplares semejantes a los descritos en la Cerdaña como *Q. hispanica*.

Tras analizar los ejemplares ceretanos, pensamos que *Q. hispanica* es comparable en parte con *Q. canariensis*. Sin embargo, esta última especie, además de presentar algunas hojas semejantes a las de la especie que nos ocupa, posee otras hojas con margen lobulado y mayor número de nervios secundarios que la especie fósil (de 8 a 14 pares). Algunos autores como PAMALAREV (1989), consideran a *Q. cardanii* (MASS.) sensu PAMALAREV & KITANOV el antepasado de *Q. canariensis* y *Q. hartwissiana* STEV. y no a *Q. hispanica*. *Q. canariensis* en la actualidad es una especie relictica del Terciario que habita en la Península Ibérica en zonas con ombroclimas hiperhúmedos, ocupando en Andalucía situaciones topográficas muy particulares (umbrías, fondos de barrancos y cercanías de ríos y arroyos (NIETO-CALDERA et al., 1990).

Por otra parte, no creemos que *Q. hispanica* pueda relacionarse con *Q. faginea*, ya que esta especie presenta hojas subcoriáceas, con forma de oblonga a ovada, margen sinuado-dentado o lobado, por lo general con dientes o lóbulos casi hasta la base y nerviación rectipinnada simple (FRANCO, 1990). A esta especie se pueden asignar los ejemplares estudiados por GRANGEON (1953, text-lám. II, fig. 9), en el Mioceno Superior de Gourgouras, descritos como *Q. hispanica*, y

los restos foliares colectados en el Plioceno de Crespiá por VILLALTA y VICENTE (1972) y ROIRON (1983).

Posiblemente la especie que estamos estudiando sí se pueda relacionar con *Q. petraea*, ya que se han colectado en la Cerdaña ejemplares con márgenes sublobulados (ejemplar MNCNV-535).

Tras un detenido análisis desde un punto de vista morfológico de las hojas de las especies actuales del género *Quercus*, hemos de concluir que la especie que posee las hojas más parecidas a *Q. hispanica* es *Q. humilis* MILL., en especial la raza que habita en los Pirineos Orientales. Esta especie es típicamente submediterránea, desarrollándose en el Centro y Sur de Europa y en el Suroeste de Asia. En estado fósil PAMALAREV (1989), la citó en el Mioceno y Plioceno de Polonia.

Nosotros no podemos afirmar taxativamente que *Q. hispanica* se halle relacionado con *Q. humilis*, ya que no han aparecido en los afloramientos de la Cerdaña ni frutos, ni amentos, ni leños, ni restos foliares con la cutícula preservada que pudiéramos relacionar con esta especie.

Sí parece claro por las características morfológicas descritas que la especie que nos ocupa se encontraría incluida en la sección *Lepidobalanus* ENDL., del subgénero *Euquercus* del género *Quercus*. Posiblemente la presencia en los afloramientos de la Cerdaña del tipo polínico 1 de *Quercus* sp., deba ser asignado a esta sección, por lo que se ratificaría la presencia de un roble *Lepidobalanus* a partir de restos foliares y de polen.

FERNANDEZ MARRON (1971), describió un resto foliar en el Oligoceno de Sarreal que atribuyó a la variedad *cuspidata* de *Q. hispanica*. Este ejemplar es coriáceo, denticulado y no conserva la nerviación. Por la descripción que da esta autora y por la figura que acompaña a ésta, no parece que deba asignarse a *Q. hispanica*. No obstante, creemos que este ejemplar debería estudiarse más en profundidad. Descartando esta última cita, debemos considerar a *Q. hispanica* como una especie típica del Mioceno Superior y del Plioceno de Europa.



Del mismo modo que en el caso de *Q. drymeja*, se han colectado restos foliares de *Q. hispanica* con agallas fosilizadas. Estas se formaron a causa del ataque de diversos tipos de insectos. En el caso de la especie que nos ocupa hemos encontrado impresiones redondeadas (Lám. III, fig. 1), seguramente producidas por distintas especies del género *Neuroterus* (Hymenoptera, Cynipidae) (DIÉGUEZ et al., 1996).

**Distribución:** Los niveles más antiguos en donde se detecta la existencia de *Q. hispanica* corresponden al Tortonense de Erdöbenye, Zemplén, Hungría (FERNANDEZ MARRON, 1971). Esta especie tiene una distribución estratigráfica que ocupa el final del Neógeno: Mioceno y Plioceno (DEPAPE, 1922; TEIXEIRA, 1952b; DEPAPE et GRANGEON, 1958; GRANGEON, 1958; BALDUZZI et al., 1980; ROIRON, 1981).

*Quercus mediterranea* UNGER, 1847  
(Lám. II, figs. 1, 5)

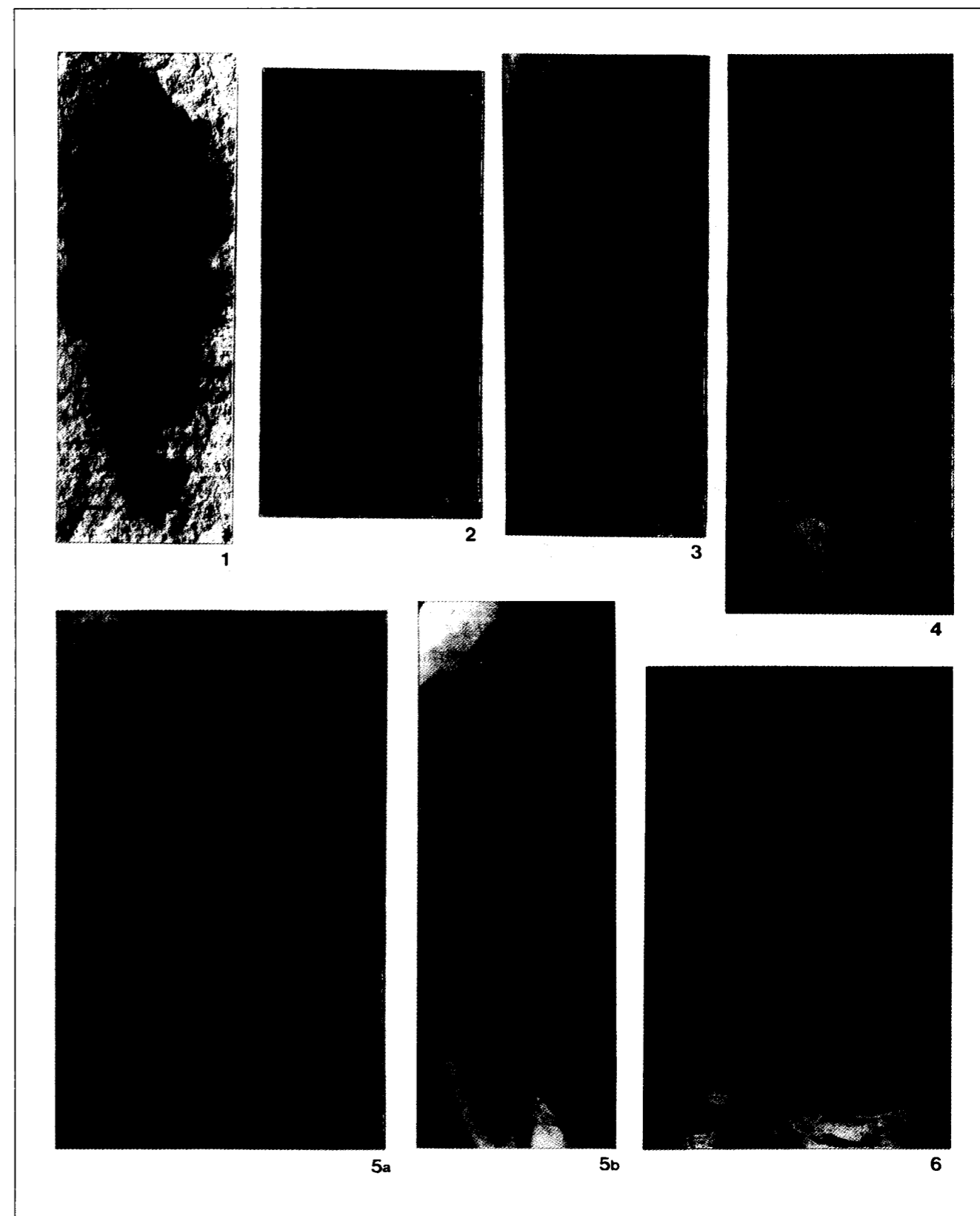
- \*1847 - *Quercus mediterranea*, UNGER, págs. 114-115, lám. XXXII, figs. 5-9.
- \*1856 - *Quercus szirmayana*, KOVATS, págs. 21-22, lám. II, figs. 1-5.
- \*1859 - *Quercus crassipes*, HEER, pág. 178, lám. CLI, fig. 28.
- 1884-1885 - *Quercus praeilex*, REROLLE, págs. 265-267, lám. IX, figs. 2-3.
- 1887 - *Quercus coccifera*, BOULAY, pág. 38.
- 1903 - *Quercus coccifera*, MARTY, pág. 39, lám. VI, fig. 4.
- 1912 - *Quercus coccifera*, DEPAPE, págs. 3-6, fig. 2 a-b, lám. 11, figs. 5-10.
- 1922 - *Quercus ilex*, DEPAPE, págs. 148-151, lám. VIII, figs. 4-8.
- 1922 - *Quercus coccifera*, DEPAPE, págs. 151-152, lám. VIII, figs. 10-11.
- 1945 - *Quercus preilex*, MELENDEZ MELENDEZ, págs. 106-108, figs. 2-3.

- 1945 - *Quercus crassipes*, VILLALTA y CRUSA-FONT, pág. 344.
- 1950 - *Quercus crassipes*, MENENDEZ AMOR, pág. 161.
- 1953 - *Quercus coccifera*, ARAMBOURG et al., págs. 24-25, lám. III, fig. 9.
- 1953 - *Quercus ilex*, ARAMBOURG et al., págs. 23-24, lám. III, fig. 10.
- 1955 - *Ilex cyclophylla*, MENENDEZ AMOR, págs. 159-160, lám. XLIII, fig. 5.
- 1955 - *Quercus crassipes*, MENENDEZ AMOR, pág. 77.
- 1958 - *Quercus coccifera*, GRANGEON, págs. 87-88, pl-text. XI, figs. 3-6, 12, 20.
- 1958 - *Quercus ilex*, GRANGEON, págs. 88-89, pl-text. XI, figs. 15, 17; pl-text. XIV, fig. 10; lám. III, fig. 2.
- 1959 - *Quercus* cfr. *Ilex*, ANDREANSZKY, pág. 101.
- 1974 - *Quercus ilex*, SANZ DE SIRIA, págs. 31-34, lám. II, fig. 2e.
- 1977 - *Quercus ilex*, SANZ DE SIRIA, pág. 26.
- 1979 - *Quercus ilex*, FERNÁNDEZ MARRÓN, pág. 405.
- 1980 - *Quercus ilex*, SANZ DE SIRIA, pág. 13, lám. I, fig. 21a.
- 1981 - *Quercus ilex*, ALVAREZ RAMIS, pág. 559.
- 1982 - *Quercus ilex*, SANZ DE SIRIA, pág. 7, lám. I, fig. 6.
- 1990 - *Quercus* cf. *coccifera*, GIVULESCU, pág. 86, lám. 4, fig. 7.

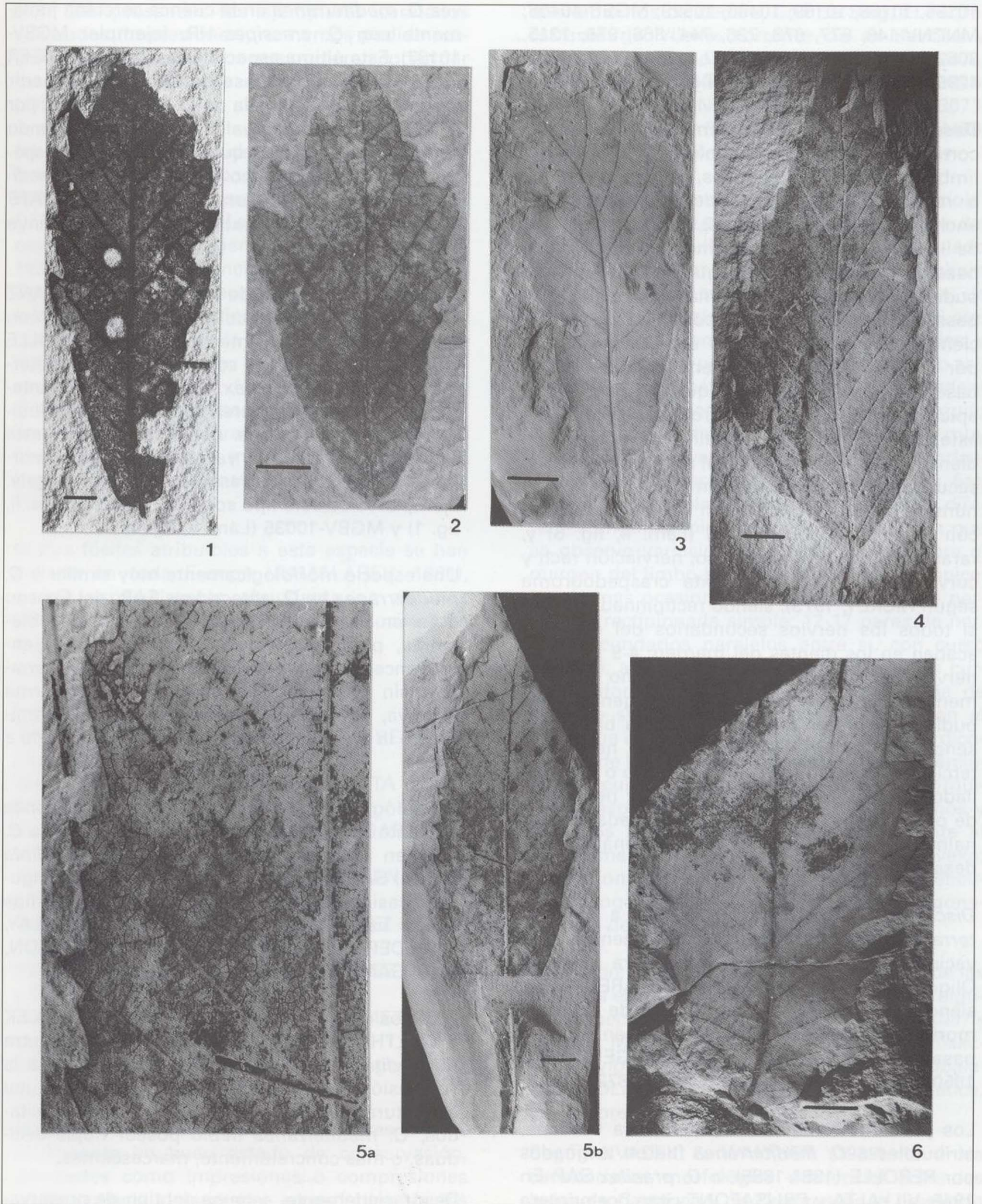
**Material:** Han sido objeto de estudio 39 ejemplares procedentes de los afloramientos de Sta. Eugenia, Coll de Saig, Bellver, Padró, Beders y Terra Negra, estos aparecían siempre como impresiones en buen estado de conservación. Los especímenes analizados fueron los siguientes: MGBG-A-73, 75; MGBV-9847, 9873, 9877, 9878, 9901, 10035, 10132, 10137, 10138, 10144,

#### Lámina III

- Fig. 1. *Quercus hispanica* REROLLE. MNCNV-3532. Beders.
  - Fig. 2. *Quercus hispanica* REROLLE. MGM-1063M. Padró.
  - Fig. 3. *Quercus hispanica* REROLLE. MGM-1052M. Coll de Saig.
  - Fig. 4. cf. *Quercus* sp. MGBV-9457. El Pedró.
  - Fig. 5a. cf. *Quercus* sp. CMV-s/n. Bellver de Cerdanya (Detalle de margen foliar y nerviación aumentado 4 veces su tamaño).
  - Fig. 5b. cf. *Quercus* sp. CMV-s/n. Bellver de Cerdanya.
  - Fig. 6. cf. *Quercus* sp. MGBV-9474. Coll de Saig.
- (Escala gráfica Figs. 1-3: 0,5 cm; Figs. 5b-6: 1 cm)









10155, 10168, 10169, 10466, 10529; MGSB-40408; MNCNV-149, 677, 678, 736, 744, 866, 975, 1215, 3062, 3070, 3071, 4255, 4257, 4267, 4271, 4281, 4299, 4301, 4312, 4556; UABT-s/n.

**Descripción:** Hojas acebiformes, subcoriáceas, cortamente pecioladas (pecíolo de 0,46-0,14 cm); limbos polimórficos: elípticos, oblongos, ovados o redondeados; longitud del limbo: 6-2 cm; anchura máxima del limbo: 2,5-1,5 cm; distancia de la zona de máxima anchura del limbo a la base: 2,3-1,4 cm; ápice de agudo a redondeado, pudiendo encontrarse mucronado (Lám. II, fig. 1); base con desarrollo idéntico al ápice, apareciendo también ejemplares cordados; margen por lo general aserrado, atenuándose hacia la base; dientes del margen pequeños, con ángulo apical agudo, o bien desarrollados, siendo en este caso vulnerantes; usualmente número de dientes del margen idéntico al número de nervios secundarios, aunque aparecen ejemplares con un número menor de dientes (en algunas ocasiones con uno sólo, MGBV-10035) (Lám. II, fig. 5) y, raramente, con el margen liso; nerviación recti y curvipinnada a la vez (mixta craspedódroma según HICKEY, 1973), siendo rectipinnada simple si todos los nervios secundarios del ejemplar acaban en los dientes del margen; 4-9 pares de nervios secundarios con curso derecho o uniformemente curvado y ángulo de divergencia >45°, pudiéndose hacer casi recto hacia la base; presencia de nervios intersecundarios; nerviación terciaria percurrente de curso derecho o ahorquillado, oblicua frente al nervio medio; nerviación de orden inferior a la terciaria reticulada ortogonalmente formando areolas poligonales bien desarrolladas.

**Discusión:** Restos foliares asignables a *Q. mediterranea* se han colectado frecuentemente en los yacimientos europeos con macroflora desde el Oligoceno hasta el Plioceno (PAMALAREV, 1989), siendo usual hallar restos foliares de diversas morfologías. Esto fue apuntado ya en el siglo pasado por diversos autores (UNGER, 1847, 1850; HEER, 1856; SCHIMPER, 1870-1872)

Los primeros restos colectados en la Cerdaña, atribuibles a *Q. mediterranea* fueron asignados por REROLLE (1884-1885), a *Q. praeilex* SAP. En 1945, VILLALTA y CRUSAFONT citan por primera

vez *Q. mediterranea* en la cuenca ceretana juntamente con *Q. crassipes* HR. (ejemplar MGBV-10137). Esta última especie fue descrita por HEER (1859) en el Sarmatiense de Oehningen a partir de una hoja redondeada de *Q. mediterranea*, por lo que no presenta valor taxonómico, siendo sinónima de la especie que nos ocupa. Otra especie sin valor taxonómico y sinónima de *Q. mediterranea* es *Q. szirmayana*, descrita por KOVATS (1856) en el Sarmatiense de Erdobénye (Hungría).

En la cercana cuenca de la Seo de Urgel, SANZ DE SIRIA (1974, 1980), colectó restos foliares con características semejantes a los que REROLLE (1884-1885), consideró como *Q. praeilex*, determinándolos como *Q. ilex*. Como en el caso anterior, se trata de ejemplares que deben ser atribuidos a la especie que nos ocupa, pues esta morfología se debe al ya mencionado polimorfismo foliar del que esta especie hace gala. Ejemplares de este tipo son: MGBV-9878 (Lám. II, fig. 1) y MGBV-10035 (Lám. II, fig. 5).

Una especie morfológicamente muy similar a *Q. mediterranea* es *Q. antedens* SAP., del Eoceno d'Aix-en-Provence (SAPORTA, 1879). Posiblemente, pudiera ser que la especie de Aix-en-Provence fuera la antecesora de *Q. mediterranea*, sin embargo para afirmar esto de forma taxativa, se deberían realizar estudios anatómicos de la especie eocena que no se han llevado a cabo.

Morfológicamente hablando, *Q. mediterranea* presenta similitudes con las especies actuales *Q. ilex* (en particular con su subespecie *ballota* (DESF.) SAMP.) y *Q. coccifera*, por lo que en algunas ocasiones, ejemplares de la especie que nos ocupa han sido asignados a éstas (BOULAY, 1887; DEPAPE, 1912; DEPAPE, 1922; GRANGEON, 1958; SANZ DE SIRIA, 1974, 1980).

Estudios cuticulares llevados a cabo por KVACEK & WALTHER (1989), revelaron el parentesco entre *Q. mediterranea* y *Q. coccifera*, llegándose a la conclusión que *Q. mediterranea* no presentó una estructura esclerófila. Así, según los autores citados, *Q. mediterranea* debió poseer hojas decíduas, o más concretamente, marcescentes.

Desgraciadamente, a causa del tipo de preserva-

ción que presentan los ejemplares ceretanos colectados (impresiones), no hemos podido realizar estudios anatómicos que pudieran confirmar las observaciones de KVACEK & WALTHER (1989).

No obstante, si consideramos la relación de parentesco con *Q. coccifera*, *Q. mediterranea* debe situarse en la subsección *ilex* LIEB. & ÖERST. de la sección *Lepidobalanus* del subgénero *Euquercus* del género *Quercus* (CAMUS, 1936-1954). La presencia de una especie de *Quercus* de esta subsección viene ratificada por la aparición de polen tipo *ilex-coccifera* en algunos afloramientos de la Cerdaña, como hemos indicado anteriormente.

**Distribución:** Esta especie presenta una muy amplia distribución estratigráfica que va desde el Chatiense (Oligoceno inferior) (UNGER, 1850), hasta el Villafranquiense (ARAMBOURG et al., 1953).

Restos fósiles atribuibles a esta especie se han hallado en toda Europa (PAMALAREV, 1981), siendo especialmente abundante en algunos afloramientos ya que en algunos ecosistemas debió ser una especie dominante.

cf. *Quercus* sp.

(Lám. III, figs. 4-6)

1884-1885 - *Castanea palaeopumilla*, REROLLE, págs. 264-265, lám.V, fig. 8.

1945 - *Castanea palaeopumila*, VILLALTA y CRUSAFONT, pág. 344, figs. I, VII.

1947 - *Castanea palaeopumila*, SOLE SABARIS y LLOPIS LLADO, pág. 93, lám. XI.

1955 - *Castanea paleopumila*, MENENDEZ AMOR, pág. 76-77, lám. XXV, fig. 3.

1981 - *Castanea palaeopumilia*, ALVAREZ RAMIS, pág. 557.

1981 - *Castanea palaeopumilia*, ALVAREZ RAMIS y GOLPE-POSSE, pág. 33.

1988 - *Castanea palaeopumilla*, GOMEZ-ALBA, pág. 30, lám. 15, fig. 11.

1991 - *Castanea sativa*, BARRON, págs. 49-63, lám. II, figs. 1-2, lám. III, fig. 1.

**Material:** Se han estudiado 24 ejemplares foliares usualmente en buen estado de conservación, colectados como impresiones o compresiones sin la cutícula preservada, procedentes de los

afloramientos de Beders, Coll de Saig, El Pedró, torrente de Vilella, torrente de la Bavosa y barranco de Salanca: CMV-s/n; MGBV-9457, 9474, 10158, 28724; MGM-1061M; MGSB-4037, 31016, 31217, 48154; MNCNV-302, 1541, 1542, 3073, 3117, 3118, 3122, 3140, 3551, 3569, 4489, 4490; UCM-BII-008; UCM-CTV-36.

**Descripción:** Restos foliares cortamente peciolados; longitud del pecíolo: 0,8-0,2 cm; forma del limbo de elíptico (lám. III, fig. 5b) a lanceolado (Lám. III, fig. 4); longitud: 10,59-6,86 cm; anchura máxima: 5,5-2,2 cm; distancia de la zona de máxima anchura del limbo a la base: 6-2,16 cm; ápice atenuado en los limbos más grandes y agudo en los más pequeños; base simétrica o asimétrica, si es simétrica varía de aguda a redondeada; margen aserrado con ángulo apical agudo o recto, si los dientes marginales están muy desarrollados, a veces este ángulo es redondeado y forma una especie de seno (Lám. III, fig. 5a), en algunos ejemplares aparecen dientes con diferentes ángulos apicales (Lám. III, fig. 6), sin que se observe variación de estos ángulos sobre el margen del limbo hacia la base o hacia el ápice; en algunas ocasiones dientes mucronados; nerviación rectipinnada simple; 12-17 pares de nervios secundarios paralelos entre sí, con curso derecho, aunque en algunos ejemplares se curvan uniformemente; ángulo de divergencia de 45° que suele variar siendo más agudo en el ápice que en la base; en algunas ocasiones, dicotomías de los nervios secundarios; nervios terciarios percurrentes, con curso derecho o ahorquillado, respecto a los secundarios son alternos y opuestos formando un ángulo recto, frente al nervio medio son oblicuos con curso convexo; nerviación de rango inferior a la terciaria, reticulada ortogonalmente formando areolas poligonales bien desarrolladas.

**Discusión:** La diferenciación entre las hojas de las distintas especies del género *Castanea* y de algunas especies incluidas en las secciones *Cerris* ÖERST., *Mesobalanus* A. CAMUS y en la subsección *Prinoideae* TREL., de la sección *Lepidobalanus* ENDL., del género *Quercus*, es problemática, ya que presentan morfologías idénticas.

Según KVACEK & WALTHER (1989), la única característica morfológica diferencial entre las hojas de *Castanea* y de *Quercus*, es la presencia

en este último género de nervios fimbriales. Desde un punto de vista epidérmico, también es difícil distinguir las hojas de estos dos géneros, ya que presentan patrones similares (KVACEK & WALTHER, op. cit.).

En el Mioceno Superior de la Cerdaña, REROLLE (1884-1885), colectó un conjunto de restos foliares oblongo-lanceolados con pequeños dientes en el margen, los cuales comparó con los descritos en el Pontiense de Senigalia (Italia) como *C. palæopumilla* AND.

*C. palæopumilla* fue descrita en el Mioceno Medio de Thalheim (Rumanía), a partir de restos foliares idénticos a *Q. kubinyi* (KOV.) CZECZOTT, por lo que no presenta valor taxonómico (TRALAU, 1963). Hasta el momento, en Europa no se ha descrito ningún resto foliar verdaderamente relacionable con la especie actual *C. pumila* (L.) MILL., del Este de Norteamérica.

Los especímenes descritos en Senigalia como *C. palæopumilla*, morfológicamente no presentan ninguna afinidad con *Q. kubinyi*, ya que esta especie tiene dientes marginales aristados. Por las mismas razones, creemos que los ejemplares ceretanos tampoco poseen ninguna afinidad con esta última especie.

Posteriormente a REROLLE (1884-1885), en la Cerdaña se colectaron restos foliares que se alejan del patrón descrito por este autor. Se trata de hojas de limbos anchos con dientes marginales muy patentes, triangulares y, algunos, con ángulos apicales rectos. Estos restos son comparables a los de la especie *C. forilivii* MASS., descrita en Senigalia (MASSALONGO et SCARABELLI, 1859). Ejemplares con estas características procedentes de la Cerdaña, fueron incluidos en *C. palæopumilla* por VILLALTA y CRUSAFONT (1945) y MENENDEZ AMOR (1955).

También han sido colectados en los afloramientos ceretanos ejemplares con limbos asimétricos y nervios secundarios uniformemente curvados y poco espaciados (ejemplar MGBV9457) (Lám. III, fig. 4). Esta morfología se puede referir a la especie *Quercus licudensis* descrita por KNOBLOCH & VELITZELOS (1986), en la flora del Mioceno Superior de Likudi (Grecia). Sobre todo encontra-

mos un gran parecido con el ejemplar figurado en la lám. 3, fig. 9, del trabajo anteriormente citado.

Pensamos que los restos foliares procedentes de la Cerdaña, tanto los descritos como *C. palæopumilla* como los comparables con *C. forilivii* y con *Q. licudensis*, pertenecen a la misma especie, siendo este un caso patente de polimorfismo foliar, usual en los representantes de la familia Fagaceae.

Al tratar de relacionar los restos foliares del tipo descrito con los géneros *Castanea* o *Quercus*, hemos contrastado las características de nuestros ejemplares con la descripción de diferentes especies fósiles, llegando a las siguientes conclusiones:

a) No podemos relacionar la especie en estudio con *Q. czeczottiae* HUMMEL descrita por STRIEGLER (1992), en el Mioceno Medio de Polonia, ni con *Q. pontica miocenica* KUBAT encontrada por MELLER (1983), en el Vallesiense de Sprendlingen, ya que, aunque presentan una forma muy semejante a la de nuestros ejemplares, poseen nervios secundarios ramificados en su zona terminal.

b) Los ejemplares ceretanos poseen los dientes del margen sin aristas, ya que como mucho los presentan mucronados. Por esta razón no se pueden relacionar con las especies neógenas: *Q. kubinyi*, *Q. schoetzii* KNOBL., *Q. gregori* KNOBL. y *Q. latifolia* (SORD.) KNOBL.

c) *Q. licudensis* pudiera ser relacionado con algunos de nuestros ejemplares. KNOBLOCH & VELITZELOS (1986), destacan que *Q. licudensis* presenta un número de pares de nervios secundarios que oscila entre 21 y 17, además aseguran que este número es constante. Creemos que estos autores no deberían haber realizado esta afirmación de un modo tan taxativo, ya que la muestra, como ellos mismos reconocen, era insuficiente.

Los ejemplares ahora asignados a *Q. licudensis* lo fueron primeramente a *C. sativa* MILL. Para argumentar esta nueva atribución taxonómica KNOBLOCH & VELITZELOS (1986), explican que

los especímenes de Likudi presentan una densa nerviación secundaria y terciaria, y el ángulo apical redondeado. No obstante, los individuos de las distintas especies de los géneros *Quercus* y *Castanea* pueden tener, según las características del medio donde vivan hojas con nerviación más compacta que otras. En los ejemplares de la Cerdaña sólo podemos considerar como "densa" la nerviación del ejemplar MGBV-9457 (Lám. III, fig. 4). En cuanto al ángulo apical, tanto en *Castanea* como en *Quercus* existen individuos con hojas que presentan varios tipos de ángulo apical, como ocurre en el ejemplar CMV-s/n (Lám. III, fig. 5a), luego la atribución de los ejemplares de Likudi al género *Quercus* por las razones expuestas carece de base. Pensamos que no se puede rechazar totalmente el que estos puedan volver a asignarse al género *Castanea*.

d) La especie que en principio se identifica más directamente con los ejemplares ceretanos es *C. atavia* UNG., considerada sinónima "pro parte" por PAMALAREV (1989), junto con *C. sativa fossilis*, de *C. pliosativa* KOLAK. Ejemplares con una morfología similar a los colectados en la depresión Ceretana han sido descritos en el Tortoniense de Esbarrondadoiro (TEIXEIRA, 1952a), en el Mioceno Superior de Charay y Rochessauve (GRANGEON, 1958), en el Pannoniense de Moravia y Bavaria (KNOBLOCH, 1969; UNGER, 1983) y en el Plioceno de Montijo y del Valle de Samtarém (TEIXEIRA, 1947, 1952b).

BARRON (1991), atribuyó los restos foliares de la especie que nos ocupa a *C. sativa*, aduciendo que, aunque no se han podido realizar estudios cuticulares, por una parte, sus morfologías foliares son idénticas, y por otra, los ejemplares ceretanos no presentan los nervios fimbriales puestos de manifiesto por KVACEK & WALTHER (1989), característicos del género *Quercus*.

Sin embargo, es posible que la carencia de estos nervios en las hojas fósiles sea debida a una pérdida de información durante el proceso de fosilización.

El género *Castanea* fue mencionado a partir de granos de polen procedentes de las minas de Sanavastre y Sampsor por JELGERSMA (1957) y BESSEDIK (1985). Por el contrario, tanto BALTUILLE et al. (1992), como nosotros no hemos

hallado ni un solo grano asignable a este género. Es posible que la ausencia de palinomorfos de este tipo sea debida a que *Castanea* presenta una polinización entomófila, sin embargo este género produce gran cantidad de granos de polen y es extraño que en los sedimentos estudiados aparezcan restos foliares y ni un solo palinomorfo. Posiblemente, el polen de tipo *Castanea* sea más fácilmente destruido que otros tipos polínicos. Sin embargo, en la Cerdaña se han hallado pólenes de plantas acuáticas considerados frágiles frente a los procesos de fosilización (BARRON, 1997). A diferencia de los pólenes de tipo *Castanea*, los palinomorfos asignables al género *Quercus* son muy abundantes.

Teniendo en cuenta la ausencia de pólenes de tipo *Castanea* así como y lo incierto de la preservación de nervios fimbriales en las hojas colectadas, atribuimos los restos foliares castaniformes de fagáceas ceretanas a cf. *Quercus* sp., esperando que en el futuro se puedan colectar frutos o restos florales en conexión orgánica a ramas con hojas que puedan ratificar o no la asignación de estos restos a este género o a *Castanea*.

#### ASPECTOS PALEOECOLOGICOS Y PALEOCLIMATICOS

El reino florístico Holártico (entendiéndolo según la descripción realizada por TAKHTAJAN, 1986) durante el final del Cretácico y gran parte del Terciario estuvo poblado por dos cinturones de vegetación (Geofloras) con características diferentes:

La Geoflora Arctoterciaria (ENGLER sensu MAI, 1989) se encontraba fundamentalmente compuesta por bosques mesófilos caducifolios que cubrieron la zona Artica durante el Cretácico, persistió durante el Terciario inferior y, respondiendo al gradual enfriamiento del clima, migró hacia el Sur durante el Terciario medio hasta las latitudes en donde hoy se mantiene: Asia Central y del Este y Sur este de Norteamérica (WOLFE, 1977). Durante esta migración sufrió cambios en su composición florística.

Por su parte, la Geoflora Paleotropical (ENGLER sensu MAI, 1989) estaba compuesta por bosques con requerimientos tropicales o subtropicales



que cubrieron latitudes medias y bajas del Oeste de Norteamérica y Eurasia durante el Cretácico Superior y el Paleoceno (MAI, 1991).

Durante el Oligoceno inferior los elementos decíduos arctoterciarios ocuparon gran parte de las comunidades forestales europeas debido a una regresión oceánica que tuvo como consecuencia un enfriamiento climático y una continentalización del clima en el continente eurasiático (MAI, 1991).

En la Península Ibérica e Islas Baleares los elementos arctoterciarios no aparecieron en los ecosistemas de la zona hasta el Oligoceno. Estos se diversificaron durante el Neógeno a la par que se extinguían la mayor parte de los elementos paleotropicales.

Las quercíneas que se han estudiado en este trabajo son todas ellas elementos arctoterciarios, con la salvedad de *Quercus drymeja* que no sabemos encuadrar en ninguna de las dos Geofloras, dado que la Eurasia paleotropical, tipificada por la flora de Gelinden (Francia), poseía varias especies de *Quercus* del subgénero *Cyclobalanus* (AXELROD, 1975; MEYEN, 1987), al que parece pertenecer la especie mencionada.

Actualmente, en Europa, y por supuesto en la Península Ibérica, la composición de sus comunidades vegetales está empobrecida con respecto a las que hubo durante el Neógeno a causa del efecto de las glaciaciones cuaternarias.

Hoy en día la Cerdaña se encuentra poblada por bosques de media montaña submediterráneos y bosques subalpinos. La vegetación que existe en la zona de valle es un bosque de *Quercus humilis*, en la actualidad muy degradado sustituido por un matorral de *Buxus sempervirens* L. y *Juniperus communis* L. Aquí, son típicos los prados y pastizales de siega bordeados por chopearas, bosquetes de sauces y alisedas. La alta montaña se encuentra poblada por bosques de *Pinus sylvestris* L. y *P. uncinata*, en localidades de umbría aparece excepcionalmente *Abies alba* MILL. Es destacable la presencia de bosques mixtos oligotrofos de *Fagus sylvatica* L. y *Abies alba* en zonas de umbría de la Sierra del Cadí (VIGO y NINOT, 1987).

Esta vegetación actual se diferencia bastante de la que debió existir en la zona durante el Vallesense. Si tenemos en cuenta únicamente la megaflore colectada, concluiríamos que en la Cerdaña se desarrollaron extensos bosques. Sin embargo, los datos palinológicos parecen indicar que hubo una alternancia de períodos en los cuales la vegetación era abierta, seguramente los ecosistemas dominantes fueron praderas, con momentos en los que se desarrollaron bosques (BARRON, 1997). Por su parte, la microflora correspondiente a *Quercus*, no nos ayuda a realizar reconstrucciones de tipo paleoecológico ya que la relación de los palinomorfos con las especies determinadas a partir de restos foliares no está tan clara. Únicamente podemos llegar a comparar el tipo polínico 1 con *Q. hispanica* y el 4 con *Q. mediterranea*. Los otros tipos pertenecieron a otras especies de quercíneas, algunas de las cuales no existían en la Cerdaña. Su presencia es debida a que, como hemos indicado anteriormente, *Quercus* es un género anemófilo con una alta producción polínica.

En las localidades de Coll de Saig, camino de Balltarga a Bor, Beders, torrente de Vilella y barranco de Salanca se han colectado más de 100 restos foliares asignables a distintas divisiones del Reino Plantae, y en todos ellos la familia de angiospermas que se encuentra mayormente representada es Fagaceae. Más concretamente, en Coll de Saig, el 38,78% del conjunto de la megaflore estudiada corresponde a la familia Fagaceae, en el camino de Balltarga a Bor, el 40,34%, en Beders el 59,23%, en el torrente de Vilella el 31,86% y en el barranco de Salanca el 23,51%. Esto parece indicar que tal y como ocurre en la actualidad en muchas zonas del Hemisferio Norte, algunas de las especies de Fagaceae que aparecen en la Cerdaña fueron dominantes en los ecosistemas de la zona definiendo unidades de paisaje.

Si en cada afloramiento por separado analizamos los porcentajes de las distintas especies de fagáceas determinadas (Fig. 3), observamos que las quercíneas son las que presentan porcentajes más altos en todos los afloramientos estudiados menos en el de Beders, en donde el género *Fagus* presenta una mayor representación. *Q. drymeja* es la especie con más altos valores en el camino

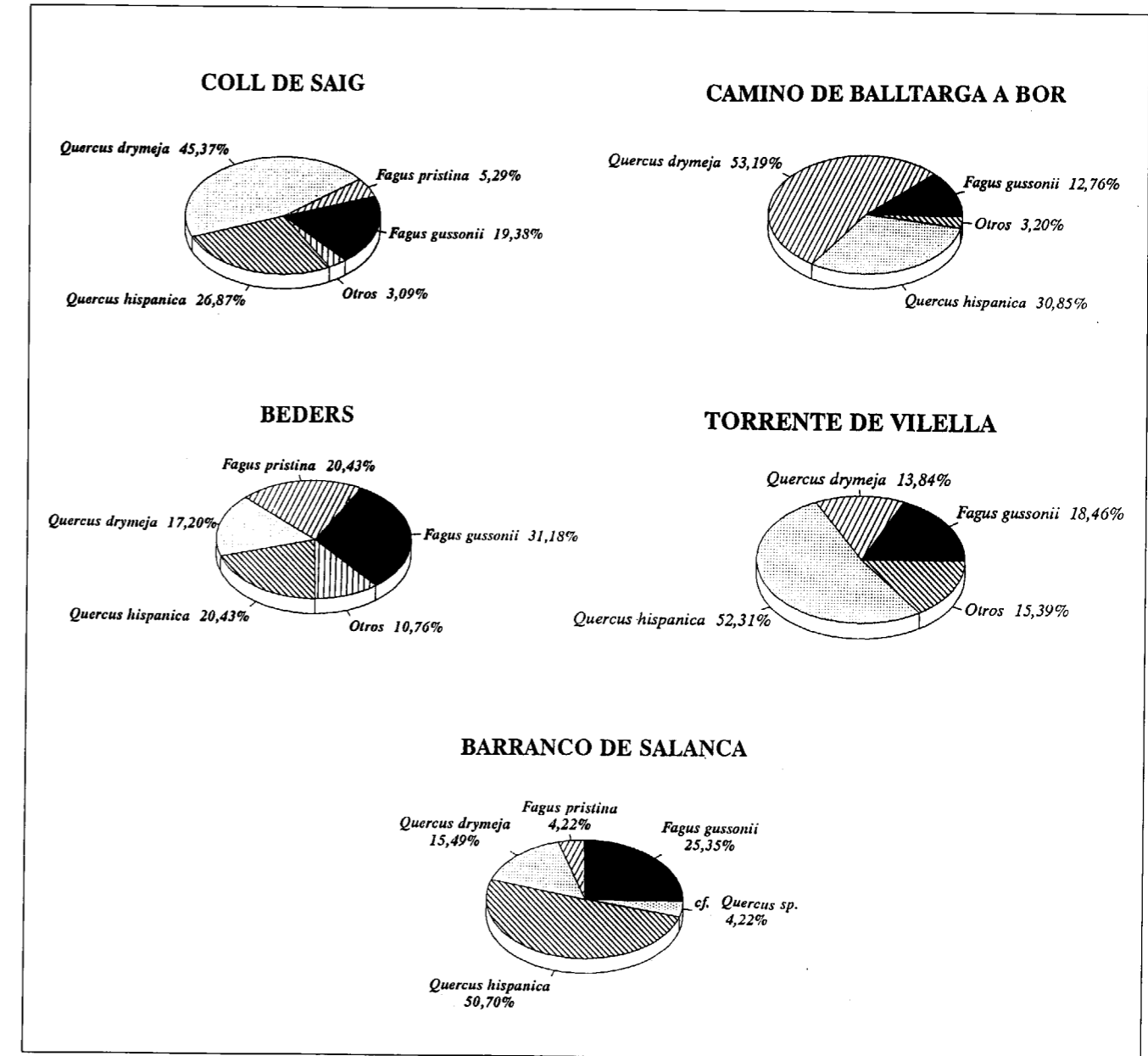


Fig. 3. Porcentajes de las distintas especies de la familia Fagaceae determinadas a partir de restos foliares en los afloramientos de Coll de Saig, camino de Balltarga a Bor, Beders, torrente de Vilella y barranco de Salanca.

de Balltarga a Bor y en Coll de Saig; *Q. hispanica* en el torrente de Vilella y en el barranco de Salanca; por último, *Q. drymeja* y *Q. hispanica* presentan porcentajes semejantes en Beders, aunque la segunda especie presenta un porcentaje ligeramente superior a la primera. Las especies *Q. mediterranea* y cf. *Quercus sp.* siempre que aparecen lo hacen en pequeño número,

luego debieron ser especies acompañantes o, en el caso de *Q. mediterranea*, su porte pudo ser arbustivo y por eso sus hojas no llegaron en mayor cantidad al lago ceretano.

Si tenemos en consideración únicamente las Fagaceae que se han determinado en el Vallesense ceretano, suponiendo que fueron

dominantes en los ecosistemas de la zona, podemos inferir tres ecosistemas diferentes:

a) Laurisilvas: la existencia de este tipo de formación está indicada por plantas notófilas con hojas de tipo perennifolio. Debió tratarse de una comunidad en donde *Q. drymeja* era la especie dominante. En segundo lugar se encontrarían distintas especies de lauráceas, y posiblemente de forma arbustiva o como especie acompañante de pequeño porte se integraría en esta comunidad *Q. mediterranea*. Las laurisilvas parecen haber sido la vegetación dominante durante el depósito de los sedimentos de los afloramientos de Coll de Saig y camino de Balltarga a Bor.

b) Robledales: estos bosques debieron encontrarse dominados por *Q. hispanica*, especie que poseyó hojas marcescentes o caducas. Como especies acompañantes de estas comunidades se debieron integrar distintas betuláceas, aceráceas y tiliáceas, y posiblemente otras quercíneas como cf. *Quercus* sp. Los bosques de este tipo parece que dominaron durante la formación de los afloramientos del torrente de Vilella y barranco de Salanca.

c) Hayedos: las especies que habitaron estas comunidades fueron *Fagus gussonii* Mass. y *F. pristina* Sap. (BARRON & DIEGUEZ, 1994), es posible que en ellos crecieran también individuos aislados de las especies *Q. hispanica* y cf. *Quercus* sp. Los hayedos fueron la vegetación más característica durante la sedimentación de las lutitas del afloramiento de Beders.

La presencia de las quercíneas descritas en este trabajo parece ratificar que en la Cerdaña durante el Vallesiense se desarrolló un clima templado, aunque éste fue más cálido en unos períodos y más frío en otros (BARRON, 1997). La presencia mayoritaria de *Q. drymeja* en los afloramientos del camino de Balltarga a Bor y, fundamentalmente, en Coll de Saig, parece indicar que durante el depósito de los materiales de estos dos afloramientos el clima fue más benigno, posiblemente templado cálido o incluso subtropical, que durante la formación de los otros tres. Es posible que las condiciones climáticas que refleja el afloramiento de Beders fueran las más frías, como indica el establecimiento preponde-

rante del hayedo frente a los robledales y laurisilvas.

Si comparamos las laurisilvas y robledales inferidas a partir de los fósiles estudiados con los que existen hoy en día en el Hemisferio Norte, se podrían relacionar con las que se desarrollan en las siguientes zonas geográficas:

1- Regiones pónicas, euxínicas y provincia Hyrcana, situadas las dos primeras al norte de la Península de Anatolia, y la última en la zona montañosa del sur del mar Caspio. Entre las plantas que habitan esta zona se encuentran *Q. castaneaefolia* y *Q. humilis* (ZOHARY, 1963; QUEZEL & BONIN, 1980; QUEZEL et al, 1980), especies relacionables con cf. *Quercus* sp. y *Q. hispanica*, respectivamente. Dadas las características climáticas de estas regiones, se trata de refugios para la flora arctoterciaria que fue barrida de Europa y gran parte de Asia durante las glaciaciones cuaternarias.

2- Este de Asia: esta zona alberga restos del bosque mesofítico arctoterciario que habitó el Hemisferio Norte y Beringia (PIELOU, 1979). Aquí habitan encinas, como *Q. myrsinaefolia*, relacionables con *Q. drymeja*.

3- Europa, en especial con las regiones en donde existen climas de tipo submediterráneo y mediterráneo. En estas zonas viven quercíneas como *Q. humilis*, *Q. ilex* y *Q. coccifera*, relacionables la primera con *Q. hispanica* y las dos últimas con *Q. mediterranea*. ALVAREZ RAMIS y GOLPE-POSSE (1981) y ROIRON (1984), expresaron que en la Cerdaña se han colectado elementos macroflóricos de tipo mediterráneo actual. Nosotros disentimos de esta afirmación, aunque hemos encontrado algunos taxones como *Q. mediterranea* que parecen ser los antepasados de *Q. coccifera* y *Q. ilex* (KVACEK & WALTHER, 1989)

## CONCLUSIONES

El presente artículo pone de manifiesto la existencia de palinomorfos y restos foliares de distintas especies del género *Quercus* L. en los sedimentos vallesienses de la Cerdaña. Estas debieron formar parte de los densos bosques de tipo templado y subtropical que se desarrollaron en la zona.

Se han descrito 5 tipos de palinomorfos: el tipo 1 es referible al grupo de *Q. robur* L. y a las especies parataxónicas *Quercopollenites granulatus* NAGY y *Quercopollenites petraea typus.*; el tipo 2 a *Tricolporopollenites asper* (TH. et PF.) W. KR.; el tipo 3 a distintas especies actuales que viven en Asia Oriental y Norteamérica; el tipo 4 al tipo polínico *ilex-coccifera*; y el tipo 5 a *Tricolporopollenites microhenrici* (R. POT.) W. KR.

A partir de restos foliares se ha puesto de manifiesto la presencia de 4 especies de quercíneas: *Quercus drymeja* UNG., relacionable con especies actuales de Asia Oriental del subgénero *Cyclobalanus* (ÖERST.) SHN. como *Quercus myrsinaefolia* BL., *Quercus salicina* BL., *Quercus bambusaefolia* HENCE y *Quercus chapensis* HICKEL et CAMUS; *Quercus hispanica* Rérolle vinculable con *Quercus humilis* MILL. que habita en regiones submediterráneas de Europa y Asia Menor; *Quercus mediterranea* UNGER antepasado de *Quercus ilex* L. y *Quercus coccifera* L., especies de las zonas mediterráneas de Europa; y cf. *Quercus* sp. descrito a partir de restos comparables con quercíneas con hojas castaneiformes y con especies del género *Castanea* MILL.

Las especies *Q. drymeja* y *Q. hispanica* presentan una distribución estratigráfica restringida al Neógeno, mientras que *Q. mediterranea* se encuentra desde el Chatiense hasta el Villafranquiense.

Todas las especies estudiadas en este trabajo son típicamente arctoterciarias menos *Q. drymeja* que podría estar relacionada con encinas paleotropicales. *Q. drymeja* y *Q. hispanica* fueron dominantes en los ecosistemas de la Cerdaña formando laurisilvas y robledales. Por su parte, *Q. mediterranea* y cf. *Quercus* sp. debieron comportarse como especies acompañantes.

La presencia de las quercíneas determinadas en el vallesiense de la Cerdaña señala climas templados o templado cálidos. La existencia de laurisilvas podría ser indicativo de períodos de condiciones ambientales subtropicales.

## AGRADECIMIENTOS

Este estudio formó parte tanto de mi Tesis de

Licenciatura como de mi Tesis Doctoral. La primera fue dirigida por la Dra. Carmen Diéguez, y la segunda por la ya mencionada Dra. Diéguez y por la Dra. Dolores Gil Cid. A ambas mi más profundo agradecimiento. También quiero reflejar en este apartado a la Dra. M<sup>a</sup> Eugenia Ron, ponente de mi Tesis Doctoral, a la Dra. Isabel Rábano, Directora del Museo Geominero, Ana Rodrigo, Dr. Juan Carlos Gutiérrez y a Eulogio Martín, por su ayuda y consejos. Finalmente me gustaría destacar las importantes apreciaciones de índole científico que realizó el Dr. Robert H. Wagner a este trabajo.

## REFERENCIAS

- AGUSTI, J. y ROCA, E. (1987): *Síntesis bioestratigráfica de la fosa de la Cerdaña (Pirineos orientales)*. Est. geol., 43, pp. 521-529.
- ALMERA, J. (1894): *Descripción de los depósitos pliocénicos de la cuenca del Bajo Llobregat y llano de Barcelona*. Mem. R. Acad. Cien. Art. Barcelona, 3 (3), pp. 321-351.
- ALVAREZ RAMIS, C. (1981): *Paleoclima de las cuencas pontienses del Pirineo catalán*. Anais II Congr. Latino-Americano Paleont. Porto Alegre., pp. 553-564.
- ALVAREZ RAMIS, C. y GOLPE-POSSE, J. M. (1981): *Sobre la paleobiología de la cuenca de Cerdaña (depressiones pirenaicas)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.), 79, pp. 31-44.
- ANADON, P.; CABRERA, L.; JULIA, R.; ROCA, E. & ROSELL, L. (1989): *Lacustrine oil-shale basins in Tertiary grabens from N.E. Spain (Western European Rift System)*. Palaeontogeogr. Palaeoclimat. Palaeoecol., 70, pp. 7-28.
- ANDREANSZKY, G. (1959): *Die Flora der Sarmatischen Stufe in Ungarn (Die paläoökologische und zöologische Beziehungen ihrer Entwicklungsgeschichte)*. Geologische Übersicht von Zoltán Schröter, Budapest, 360 pp.
- ARAMBOURG, C.; ARENES, J. et DEPAPE, G. (1953): *Contribution à l'étude des flores fossiles quaternaires de l'Afrique du Nord*. Arch. Mus. Nac. Hist. Nat. Paris., 2, pp. 1-85.
- ARENES, J. et DEPAPE, G. (1956): *La flore burdigalienne des Iles Baléares (Majorque)*. Rev. Gral. Bot., 63, pp. 347-390.
- AXELROD, D. I. (1975): *Evolution and biogeography of Madrean-Tethyan sclerophyll vegetation*. Ann. Missouri Bot. Gard., 62, pp. 280-334.
- BALDUZZI, A.; BRAMBILLA, G. et VITTADINI ZORZOLI, M. (1980): *Il paesaggio vegetale del Messiniano di Carbonara Scivria (AI)*. Atti Ist. Univ. Pavia, 29, pp. 1-12.
- BALTUILLE, J. M.; BECKER-PLATEN, J. D.; BENDA, L. & IVANOVIC CALZAGA, Y. (1992): *A contribution to the subdivision*



of the Neogene in Spain using Palynology. *Newsl. Stratigr.*, 27 (1/2), pp. 41-57.

BARRON, E. (1991): *Contribuciones al estudio de la macroflora pontiense de La Cerdaña (Lérida): la familia Fagaceae DUMORTIER (Fagales, Hamamelidae, Magnoliatae)*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Complutense de Madrid, 290 pp. (Inédita).

BARRON, E. (1993): *Taphonomic studies of the plant remains from the Ceretana Basin (Lérida, Spain)*. *Kaupia*, 2, pp. 127-132.

BARRON, E. (1997): *Estudio palinológico de la mina de lignito vallesiense de Sampso (la Cerdaña, Lérida, España)*. *Rev. Esp. Paleont.*, 12 (1), pp. 91-101.

BARRON, E. & DIEGUEZ, C. (1994): *Neogene species of the genus Fagus L. from La Cerdaña (Lérida, Spain). Taxonomic conclusions and phylogenetic considerations*. *Anales. Jard. Bot. Madrid*, 52 (1), pp. 21-32.

BENTHEM, F. V.; CLARKE, G. C. S. & PUNT, W. (1984): *The Northwest European Pollen Flora, 33. Fagaceae*. *Rev. Palaeobot. Palyn.*, 42, pp. 87-110.

BESSEDIK, M. (1985): *Reconstitution des environnements miocènes des régions nord-ouest méditerranéennes à partir de la Palynologie*. Thèse d'État. Académie de Montpellier. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 162 pp.

BOULAY, N. (1887): *Notice sur la flore tertiaire des environs de Privas (Ardèche)*. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 30 (34), pp. 1-38.

BOULAY, N. (1892): *Flore pliocène du Mont-Dore (Puy-du-Dôme)*. Chez F. Savy, Librairie, Paris, 115 pp.

CABRERA, L.; ROCA, E. & SANTANACH, P. (1988): *Basin formation at the end of a strike-slip fault: the Cerdanya Basin (Eastern Pyrenees)*. *J. Geol. Soc. London.*, 145, pp. 261-268.

CAMUS, A. (1936-1954): *Les chênes. Monographie du genre Quercus et Lithocarpus. Encyclopedie économique de sylviculture*. Vol. VI, 687 pp., 35 figs.; Vol. VII, 830 pp., 59 figs.; Vol. VIII, 1313 pp., 28 figs.; Atlas - pl. 1-522, pl.-anatomie. I-XCVII. Paul Lechevalier éditeur, Paris.

CEBALLOS, L. y RUIZ DE LA TORRE, J. (1979): *Arboles y arbustos de la España peninsular*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Sec. Publ., Madrid, 512 pp.

DE CANDOLLE, A. (1862): *Étude sur l'espece à l'occasion d'une révision de la famille des Cupulifères*. *Ann. Scien. Nat. Bot.*, (4) 18, pp. 59-110.

DE LA VAULX, M. M. R. et MARTY, P. (1920): *Nouvelles recherches sur la flore fossile des environs de Varennes (Puy-de-Dôme)*. *Rev. Gral. Bot.*, 32, pp. 282-300, 327-336, 351-368.

DEPAPE, M. G. (1912): *Note sur quelques chênes miocènes et pliocènes de la Vallée du Rhône*. *Rev. Gral. Bot.*, 24, pp. 335-351.

DEPAPE, M. G. (1922): *Recherches sur la flore pliocène de la Vallée du Rhône. Flores de Saint-Marcel (Ardèche) et des environs de Théziers (Gard)*. *Ann. Sc. Nat. Bot. Paris*, (10) 4, pp. 73-266.

DEPAPE, M. G. et FALLOT, P. (1928): *Les gisements de Burdigalien à plantes de Majorque*. *Ann. Soc. Geol. Nord.*, 53 (5), pp. 5-19.

DEPAPE, M. G. et GRANGEON, P. (1958): *Les flores miocènes de la France*. *Congr. Soc. Savantes. Sec. Ciencias.*, pp. 153-170.

DIEGUEZ, C.; NIEVES, J. L. & BARRON, E. (1996): *Fossil galls (zooecids) from Upper Miocene of la Cerdaña (Lérida, Spain)*. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 94, pp. 329-343.

ETTINGSHAUSEN, C. v. (1892): *Die Fossile Flora von Schoenegg bei Wies in Steiermark. I. Theil (Enthaltend die Cryptogamen, Gymnospermen, Monocotyledonen und Apetalen)*. *Denkschriften d. K. Akad. d. W. math.-naturw. Classe*, 57, pp. 61-112.

FERNANDEZ MARRON, M. T. (1971): *Estudio paleoecológico y revisión sistemática de la flora fósil del Oligoceno español*. Publicaciones de la Facultad de Ciencias. Universidad Complutense, Madrid, 177 pp.

FERNANDEZ MARRON, M. T. (1978): *Los hongos epifilos del Terciario español: especies determinadas en yacimientos del valle del Alto Segre (Lérida)*. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)*, 76, pp. 49-55.

FERNANDEZ MARRON, M. T. (1979): *Essai de résolution de problèmes stratigraphiques de la limite Paleogène-Neogène par les études de macroflore*. *Ann. Géol. Pays Hellén*, to. hors ser., fasc. 1, pp. 403-412.

FRANCO, J. DO AMARAL (1990): *Género Quercus L. In "Flora Ibérica. Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares. Vol. II. Platanaceae-Plumbaginaceae."*, pp. 15-36. CASTROVIEJO, S.; LAINZ, M.; LOPEZ GONZALEZ, G.; MONT-SERRAT, P.; MUÑOZ GARMENDIA, F.; PAIVA, J. & VILLAR, L. (eds.). Real Jardín Botánico, CSIC, Madrid.

GAUDIN, CH. TH. et STROZZI, C. (1859): *Contribution à la flore fossile italienne. II. Val d'Arno. Neue Denkschr. allgem. Ges. ges. Naturwiss.*, 17:1-59, taf. I-X.

GIVULESCU, R. (1990): *Flora fosila a Miocenului Superior de la Chiuzbaia (Judeul Maramure)*. Editura Academiei Române, Bucuresti, 233 pp.

GOMEZ-ALBA, J. (1988): *Guía de campo de los fósiles de España y de Europa*. Ed. Omega S.A. 925 pp.

GRANGEON, P. (1952): *Étude du gisement de plantes tertiaires de l'Aubepin (Hte. Loire)*. *Rev. Scien. Nat. Auvergne.*, 18 (1-4), pp. 30-58.

GRANGEON, P. (1953): *La flore pontienne de Gourgouras (Ardèche)*. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (6) 3, pp. 303-320.

GRANGEON, P. (1958): *Contribution à l'étude de la paléontologie végétale du massif du Coiron (Ardèche) (Sud-Est du*

*Massif Central français*). *Mem. Soc. Hist. Nat. Aubergne*, 6, pp. 1-302.

HEER, O. (1856): *Flora tertiaria helveticae. Die Tertiäre Flora der Schweiz. Die apetalen Dicotyledonen*. Vol. II. Wurster & Comp., Winterthur, 110 pp.

HEER, O. (1859): *Flora tertiaria helveticae. Die Tertiäre Flora der Schweiz. Die gamopetalen und polypetalen Dicotyledonen. Anhang. Allgemeiner Theil*. Vol. III. Wurster & Comp., Winterthur, 200 pp.

HEER, O. (1861): *Recherches sur le climat et la végétation du pays tertiaire*. Wurster, J. & Comp. Ed., Winterthur, 220 pp.

HEER, O. (1868): *Flora fossilis arctica. Die fossile Flora des Polärlander*. Druck und Verlag von Friedrich Schulthess, Zürich, 192 pp.

HEER, O. (1878): *Primitiae Florae Fossilis Sachalinensis. Miocene Flora der Insel Sachalin*. *Mem. Acad. Impériale Scien. St.-Petersbourg*, (7) 25 (7), pp. 1-61.

HEYWOOD, V. H. (1985): *Las plantas con flores*. Ed. Reverté, S. A. Barcelona, 322 pp.

HICKEY, L.J. (1973): *Classification of the architecture of dicotyledonous leaves*. *Amer. J. Bot.*, 60 (1), pp. 17-33.

HUTCHINSON, LL. D. (1967): *The genera of flowering plants (Angiospermae). Dicotyledons*. Vol. I-II. I:1-516, II:1-659. Oxford Clarendon Press. London.

JARVIS, D. I.; LEOPOLD, E.B.; YIZHEN, X. & KOON, D. (1992): *A photographic essay of pollen type of the mountain regions of Southwest China*. *Bot. Res.*, 6, pp. 303-326.

JELGERSMA, S. (1957): *Investigaciones palinológicas de lignitos terciarios procedentes de Cerdaña y del Valle de Arán (Pirineos españoles)*. *Cursillos Conf. Inst. Lucas Mallada.*, 4, pp. 159-162.

JONES, J. H. (1986): *Evolution of the Fagaceae. The implications of foliar features*. *Ann. Missouri Bot. Gard.*, 73 (2), pp. 228-275.

KNOBLOCH, E. (1969): *Tertiäre Floren von Mähren*. Brno, 201 pp.

KNOBLOCH, E. & VELITZELOS, E. (1986): *Die obermiozäne flora von Likudi bei Ellassona/Thessalien Griechenland*. *Doc. Nat.*, 29, pp. 5-20.

KOVATS, J. (1856): *Fossile Flora von Erdöbénye*. *Arb. Geol. Ges. Ung.*, 1, pp. 1-37.

KVACEK, Z. & WALTHER, H. (1989): *Paleobotanical studies in Fagaceae of the European Tertiary*. *Pl. Syst. Evol.*, 162, pp. 213-229.

KVACEK, Z.; MIHAJLOVIC, D. & VRABAC, S. (1993): *Early Miocene flora of Miljevina (Eastern Bosnia)*. *Acta Palaeobot.*, 33 (1), pp. 53-89.

LESQUEREUX, L. (1878): *Contributions to the fossil flora of*

*Western Territories. Part. II. The Tertiary flora*. *Report Territoires*, 7, pp. 1-336.

LIEUX, M.H. (1980): *An atlas of pollen of trees, shrubs and woody vines of Louisiana and other southeastern States, part II. Platanaceae to Betulaceae*. *Pollen et Spores*, 22 (2), pp. 191-243.

MÄDLER, K. & STEFFENS, P. (1979): *Neue Blattfloren aus dem Oligozän, Neogen und Pleistozän der Türkei (Känozoikum und Braunkohlen der Türkei)*. *Geol. Jb.*, B, 33, pp. 3-33.

MAI, D.H. (1989): *Development and regional differentiation of the European vegetation during the Tertiary*. *Pl. Syst. Evol.*, 162, pp. 79-91.

MAI, D. H. (1991): *Palaeofloristic changes in Europe and the confirmation of the Arctotertiary-Palaeotropical geofloral concept*. *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 68, pp. 29-36.

MANCHESTER, S. R. (1983): *Eocene fruits, wood and leaves of the Fagaceae from the Clarno Formation of Oregon*. *Amer. J. Bot.*, 70 (5), part. 2, Palaeobotanical section, 74 pp.

MARTY, P. (1903): *Flore miocène de Joursac (Cantal)*. Librairie, J. -B. Baillière & Fils. Paris, 92 pp.

MASSALONGO, A. et SCARABELLI, G. (1859): *Studii sulla flora fossile e geologia stratigrafica del Senigaliese*, Imola, 506 pp.

MELLENDEZ MELENDEZ, B. (1945): *Contribución al estudio de la flora fósil del Moceno de Libros (Teruel)*. *Ann. Jard. Bot. Madrid*, 6 (1), pp. 105-107.

MELLER, B. (1989): *Eine Blatt-Flora aus den obermiozänen Dinotherien-Sanden (Vallesium) von Sprendlingen (Rheinhessen)*. *Doc. Nat.*, 54, pp. 1-104.

MENENDEZ AMOR, J. (1950): *Flora fanerogámica del Terciario y su extensión en la Península*. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.)*, 48 (2), pp. 155-166.

MENENDEZ AMOR, J. (1955): *La depresión ceretana española y sus vegetales fósiles. Característica fitopaleontológica del Neógeno de la Cerdaña española*. *Mem. R. Acad. Cien. exactas, fis. Nat. Madrid.*, ser. C.N., 18, pp. 1-344.

MEYEN, S. V. (1987): *Fundamentals of Palaeobotany*. Chapman & Hall. London & New York, 432 pp.

MULLER, J. (1981): *Fossil pollen records of extant angiosperms*. *Bot. Rev.*, 47, pp. 1-142.

NAGY, E. (1985): *Sporomorphs of the Neogene in Hungary*. *Geol. Hung. ser. Palaeont.*, 47, pp. 1-234.

NEWBERRY, J. S. (1898): *Later extinct floras of North America*. *Monographs U. S. Geol. Survey.*, 35, pp. 1-295.

NIETO-CALDERA, J. M<sup>o</sup>; PEREZ-LA TORRE, A. V. & CABEZUDO, B. (1990): *Datos sobre la vegetación silicícola de Andalucía. I*. *Acta Bot. Malacitana*, 15, pp. 179-192.

PAMALAREV, E. (1989): *Paleobotanical evidences of the*

*Tertiary history and origin of the Mediterranean sclerophyll dendroflora.* Pl. Syst. Evol., 162, pp.93-107.

PHIPPS, D. & PLAYFORD, G.: (1984): *Laboratory techniques for extraction of palynomorphs from sediments.* Pap. Dep. Geol. Univ. Qd., 11 (1), pp. 1-23.

PIELOU, E. C. (1979): *Biogeography.* John Wiley & sons, New York, 351 pp.

PLANDEROVA, E. (1990): *Miocene microflora of Slovak Central Paratehys and its biostratigraphical significance.* Dionyz Stúr Inst. Geol., 5, pp. 1-243.

PONS, A. & VERNET, J.L. (1971): *Une synthèse nouvelle de l'histoire du chêne vert (Quercus ilex L.).* Bull. Soc. Bot. Fr., 118, pp. 841-850.

QUEZEL, P. & BONIN, G. (1980): *Les forêts feuilles du pourtour méditerranéen. Constitution, Écologie, situation actuelle, perspectives.* Rev. For. Fr., 32, pp. 235-268.

QUEZEL, P.; BARBERO, M. & AKMAN, Y. (1980): *Contribution à l'étude de la végétation forestière d'Anatolia septentrionale.* Phytocoenologia, 8, pp. 365-519.

REROLLE, M. L. (1884-1885): *Etudes sur les végétaux fossiles de Cerdagne.* Rev. Scien. Nat. Montpellier., (3), 4, pp. 167-191, 252-298, 368-386

RIBERO, L.; CASAS, A. & HERNANDEZ, E. (1996): *Contribución a la interpretación estructural de la cuenca de la Cerdanya a partir de datos gravimétricos.* Avan. Geofis. Geodes., 1, pp. 33-41.

ROCA, E. (1986): *Estudi geologic de la fossa de la Cerdanya.* Tesis de Licenciatura. Dpto. de Geomorfología y Tectónica, Facultad de Geología, Universidad de Barcelona, 109 pp. (Inédita).

ROIRON, P. (1981): *La macroflore pliocène de Pichegu (Saint-Gilles, Gard).* Paleobiol. Cont., 12 (1), pp. 27-42.

ROIRON, P. (1983): *Nouvelle étude de la macroflore Plio-Pleistocène de Crespià (Catalogne, Espagne).* Geobios, 16 (6), pp. 687-715.

ROIRON, P. (1984): *Les macroflores messiniennes de Méditerranée Nord-Orientale et la crise de salinité.* Paleobiol. Cont., 14, pp. 415-422.

SAENZ DE RIVAS, C. (1978): *Polen y esporas (Introducción a la Palinología y vocabulario palinológico).* H. Blume Ediciones, Madrid, 219 pp.

SANZ DE SIRIA, A. (1974): *La flora terciaria de Ballestar.* Paleont. Evol., 9, pp. 1-56.

SANZ DE SIRIA, A. (1977): *Estudio de la flora terciaria de la cuenca de la Seu d'Urgell (Resumen de Tesis doctoral).* Butll. Inf. Inst. Paleont. Sabadell, 9, pp. 25-29.

SANZ DE SIRIA, A. (1980): *Estudio sistemático y paleoecológico de la flora miocénica de la cuenca de la Seo d'Urgell.* Paleont. Evol., 14, pp. 1-28.

SANZ DE SIRIA, A. (1982): *La flora pliocénica de Siurana (Gerona).* Paleont. Evol., 17, pp. 3-14.

SAPORTA, G. de (1879): *Le monde des plantes avant l'apparition de l'homme.* Librairie de l'Académie de Médecine, Paris, 146 pp.

SCHIMPER, N. PH. (1869-1874): *Traité de Paléontologie végétale. Ou la flore du monde primitif dans ses rapports avec les formations géologiques et la flore du monde actuel,* I-III. I:1-740 (1869); II:1-966 (1870-1872); III:1-896 (1874). Baillièrre et fils, Paris.

SOLE SABARIS, L. y LLOPIS LLADO, N. (1947): *Mapa geológico de España. Escala 1:50.000. Explicación de la hoja nº 216. Bellver.* Tip. y lit. Coullaut, Madrid, 109 pp.

SPICER, R. A. (1991): *Plant taphonomic processes.* In: "Taphonomy releasing. The data locked in the fossil record", pp. 71-113. ALLISON, P. a. & BRIGGS, D. E. G. (eds.). Plenum Press, New York & London.

STRIEGLER, V. von. (1992): *Bemerkungen zu den Eichenblättern des Blättertons von Wischgrund (Miozän, Niederlausitz)-Vorläufige Mitteilung.* Doc. Nat., 70, pp. 54-61

STUR, D. (1867): *Beiträge zur Kenntnis der Flora der Sübwasserquarze, der Congerien-und Cerithienschichten im Wiener und Ungarischen Becken.* Jahrb. Geol. Reichsanst., 17, pp. 77-188.

TEIXEIRA, C. (1947): *A flora pliocénica de Montijo.* Com. Serv. Geol. Portugal, 28, pp. 213-216.

TEIXEIRA, C. (1952a): *Flora do Miocénico de Esbarrondadoiro, Odivelas.* Com. Serv. Géol. Portugal, 33, pp. 93-97.

TEIXEIRA, C. (1952b): *Flora fóssil do Pliocénico de Vale de Santarém.* Com. Serv. Geol. Portugal, 33, pp. 51-64.

TAKHTAJAN, A. (1986): *Floristic regions of the World.* University of California Press, Los Angeles, 522 pp.

TAKHTAJAN, A. (1991): *Evolutionary trends in flowering plants.* Columbia University Press, New York, 241 pp.

TRALAU, H. (1963): *Asiatic dicotyledonous affinities in the Cainozoic flora of Europe.* Klongl Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar. Fjär de Serien, 9 (3), pp. 1-87.

UNGER, F. (1847): *Chloris protogaea. Beiträge zur flora der Vorwelt.* Leipzig in Commission bei Wilhelm Engelmann, 150 pp.

UNGER, F. (1850): *Genera et species plantarum fossilium.* Sumptibus Academiae Caesare, Vindobonae, 627 pp.

UNGER, H. J. (1983): *Die Makroflora der Mergelgrube Aubenham nebst Bemerkungen zur Lithologie, Ökologie und Stratigraphie.* Geol. Jb., A67, pp. 37-129.

VAUDOIS-MIEJA, N. (1978): *Nouvelle étude paléocarpologique de l'Anjou. Révision bibliographique des Juglandaceae fossiles.* Rev. Palaeobot. Palynol., 25, pp. 269-294.

VIGO, J. y NINOT, J. M. (1987): *Los Pirineos.* In: *La vegetación*

*de España,* pp. 350-384. PEINADO LORCAS, M. y RIVAS-MARTINEZ, S. (eds.). Universidad de Alcalá de Henares, Secretaría General, Servicio de Publicaciones, Alcalá de Henares.

VILLALTA J. F. (1957): *Dos zoocecidias fósiles del Mioceno de Cerdaña (prov. de Lérida).* Cursillos conf. Inst. Lucas Mallada, 4, pp. 63-64.

VILLALTA, J. F. y CRUSAFONT, M. (1945): *La flora miocénica de la depresión de Bellver.* llerda, 3 (2), pp. 339-353.

VILLALTA, J. F. y VICENTE, J. (1972): *Una flora del Cuaternario antiguo en las cercanías de Crespià.* Acta Geol. Hisp., 7 (4), pp. 120-128.

WEBER, O. (1851): *Die Tertiärfloren der Niederrheinischen Braunkohlenformation.* Palaeontographica, 2 (4), pp. 115-236.

WESSEL, P. und WEBER, O. (1855): *Neuer Beitrag zur Tertiärfloren der Niederrheinischen Braunkohlenformation.* Palaeontographica, 4 (4), pp. 11-178.

WOLFE, J. A. (1977): *Paleogene floras from the Gulf of Alaska Region.* U.S. Geo. Surv. Prof. Pap., 977, pp. 1-108.

ZOHARY, M. (1963): *On the geobotanical structure of Iran.* Bull. Res. Council. Israel, 11D suppl., pp. 1-113.

Original recibido: Septiembre 1997.

Original aceptado: Diciembre 1997.



## GESTION DE LAS AGUAS SUPERFICIALES DEL SISTEMA DEL ALTO SEBU (MARRUECOS).

Por A. MAZOUZI (\*), S. DAHBI (\*), J. TRILLA (\*) y J. ESTALRICH (\*)

### R E S U M E N

La cuenca del oued Sebú se cuenta entre las cuencas hidrológicamente más importantes de Marruecos, tanto por el volumen de agua superficial que aporta al conjunto del país como por la dependencia que tiene gran parte de la agricultura nacional de la regulación de sus aguas. Ello justifica que dicha cuenca sea objeto de atención relevante en los programas de planificación de los recursos hídricos nacionales que, preferentemente, entre otros aspectos, contemplan la construcción de un sistema de embalses que permitan la regulación de sus recursos hídricos superficiales. En la actualidad los embalses construidos hasta la fecha se limitan a los existentes en la subcuenca del Alto Sebú. En este trabajo se presenta un modelo de gestión destinado a maximizar la producción de electricidad de dicha subcuenca considerando las circunstancias existentes en la región, con particular atención a la ciudad de Fez que actúa tanto como centro de consumo como foco de contaminación. Dicho modelo permite valorar, en términos de producción de electricidad, las repercusiones derivadas de diversas situaciones.

*Palabras clave:* Oued Sebú, Programación Dinámica Estocástica, Idriss I<sup>o</sup>, Alal el Fasi, Marruecos.

### A B S T R A C T

The Sebu basin is among the most important watersheds in Morocco, both, from the point of view of the amount of surface water that accounts for the country and as well as from the dependence that a wide extensive agricultural dedicated land has of the regulation of its waters. These facts justify that this watershed is the main scope for most of the national water resources management plans. Some of these plans consider the construction of a multireservoir system. Nowadays, the existing reservoirs are those of the upper Sebu subwatershed. In this work we present a management model oriented to maximize electricity production for this subwatershed according to the special circumstances present in the region, such as the city of Fez which acts as both a center of demand and a center of contamination. This model allows to evaluate, in terms of electricity production, the consequences of different situations.

*Key words:* Sebú river, Stochastic Dynamic Programming, Idriss I<sup>o</sup>, Alal el Fasi, Morocco.

### INTRODUCCION

La cuenca del Sebú, oued o curso fluvial del norte de Marruecos vertiente al océano Atlántico (Figura 1), ocupa una extensión de unos 39000 Km<sup>2</sup>; alrededor del 8% del total de la superficie de país. Esta cuenca se cuenta además, en términos hidrológicos, entre las más importantes del país, pues se ha estimado que aporta aproximadamente un 33% de los recursos hídricos superfi-

ciales totales y del orden del 53% de los recursos superficiales atlánticos (COMBE, 1975). Asimismo, sus aguas son la principal fuente de suministro a la zona de regadío de la llanura del Gharb. Dicha llanura, en la parte baja de la cuenca del oued Sebú, está considerada como uno de los grandes pilares del desarrollo agrícola y económico del país. Una rápida relación de sus tasas de productividad corrobora dicha afirmación. Por ejemplo, con apenas un 1% de la superficie del país, produce el 68% de la producción nacional de cereales, el 87% de la producción nacional de legumbres y el 90% de la producción nacional de cultivos industriales (M.T.P., 1992).

(\*) Unidad de Geodinámica Externa e Hidrogeología.  
Universidad Autónoma de Barcelona. 08193  
Bellaterra. Barcelona.

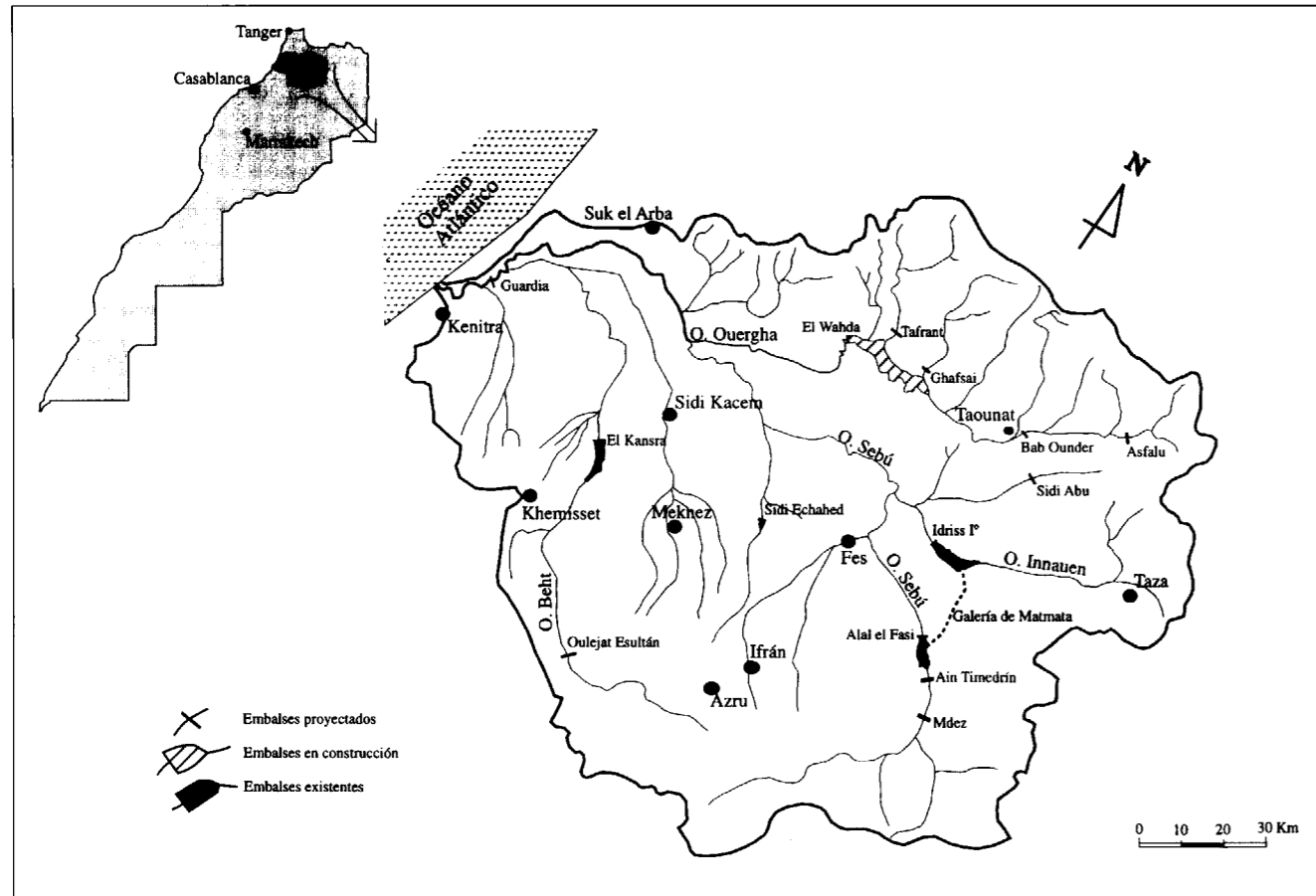


Figura 1: Situación geográfica de la cuenca del oued Sebú (Marruecos)

Por la importancia económica capital que esta zona representa para el país, y a fin de acabar también con las enormes inundaciones que esporádicamente conoce la llanura del Gharb en la estación húmeda del año hidrológico, la ordenación hidrológica de las aguas de la cuenca del Sebú, mediante construcción de embalses y acompañadas de una adecuada gestión hídrica, es una necesidad sentida en el conjunto del país. En la actualidad los planes de regulación contemplan la construcción y puesta en funcionamiento de un total de unos 14 embalses dispuestos sobre el oued Sebú y sus afluentes totalizando un volumen conjunto de regulación de unos 5760 Hm<sup>3</sup>. En la Figura 1 se ha incluido también la disposición geográfica de los distintos embalses, proyectados unos y en funcionamiento ya otros. Este conjunto de embalses, además de servir como elementos de regulación de

las aguas de regadío de la llanura del Gharb, está previsto que deban posibilitar el cumplimiento de otros objetivos como por ejemplo el de generar unos 1380 GWH/año de energía hidroeléctrica o el de trasvasar unos 770 Hm<sup>3</sup> de agua al sur del país.

No obstante, aún a pesar de la magnitud del proyecto, en la actualidad, y tal como puede apreciarse en la Figura 1, los únicos embalses construidos y en funcionamiento corresponden a los de El Kansra, de unos 35 Hm<sup>3</sup>, y los de Idriss I<sup>o</sup> y Alal el Fasi, próximos a la ciudad de Fes, que totalizan un volumen conjunto de unos 1510 Hm<sup>3</sup>. Son estos dos últimos embalses, que denominaremos como sistema del Alto Sebú, sobre los que centraremos nuestro trabajo, dado que son los principales elementos de la cuenca que pueden ser actualmente objeto de gestión.

### EL SISTEMA DEL ALTO SEBU

Tal como se ha indicado, el sistema del Alto Sebú está constituido por los embalses de Alal el Fasi e Idriss I<sup>o</sup> que situados, respectivamente, en los oueds Sebú e Innauen permiten la regulación de los caudales que dichos oueds aportan. Del primero de estos embalses, Alal el Fasi, podemos decir que recibe las aguas aportadas por unos 5780 Km<sup>2</sup> de la cuenca del oued Sebú. Por su parte, el embalse de Idriss I<sup>o</sup> regula unos 5400 Km<sup>2</sup> de la cuenca del oued Innauen, afluente del Sebú.

Por lo que respecta al régimen hídrico de dichos oueds, debemos destacar la gran variabilidad de caudales que presentan tanto a nivel mensual como anual. En la Figura 2, se han representado los caudales medios mensuales aportados por cada uno de dichos oueds a sus respectivos embalses. Así, observamos que el oued Sebú, vertiente al embalse de Alal el Fasi, en los meses de agosto, septiembre y octubre, muestra caudales medios inferiores a 10 m<sup>3</sup>/s, mientras que en marzo, abril y mayo dichos caudales son superiores a 30 m<sup>3</sup>/s. (D.R.P.E, 1994). Para el oued Innauen, vertiente al embalse de Idriss I<sup>o</sup>, la variabilidad mensual es más acusada. Así, en los meses más secos, agosto y septiembre, el caudal medio mensual ronda los 2 m<sup>3</sup>/s, mientras que en los meses más húmedos, febrero y marzo, se superan los 40 m<sup>3</sup>/s (D.R.P.E, 1994)

A nivel anual la variabilidad es también asimismo notable, tal como se puede apreciar en la Figura

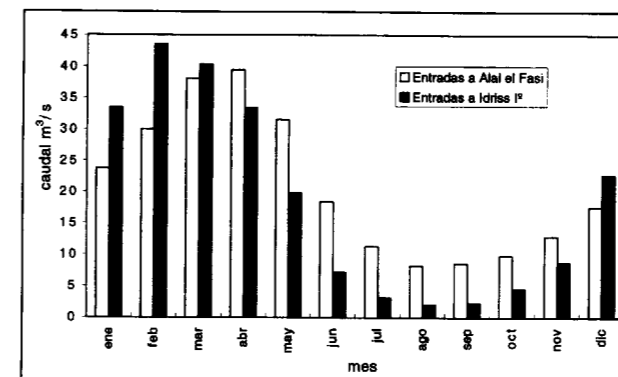


Figura 2: Caudal medio mensual (m<sup>3</sup>/s) de entrada a los embalses Alal el Fasi e Idriss I<sup>o</sup>

3 en donde se representa gráficamente la evolución, a lo largo del período 1934 - 1994, de los caudales medios anuales de entrada a los embalses de Alal el Fasi e Idriss I<sup>o</sup>.

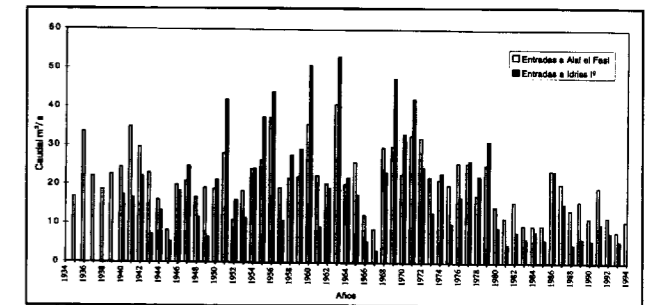


Figura 3: Caudal anual (m<sup>3</sup>/s) de entrada a los embalses Alal el Fasi e Idriss I<sup>o</sup>.

Desde otro punto de vista, podemos añadir que el embalse de Idriss I<sup>o</sup>, en la cuenca del oued Innauen, además de actuar como elemento regulador de los caudales incidentes es además un importante elemento productor de energía eléctrica. Para ello, está equipado con dos conjuntos de turbinas capaces de desaguar un caudal de 40 m<sup>3</sup>/s (M.T.P.C., 1973). Por su parte, el embalse de Alal el Fasi tiene como principal cometido servir como elemento de regulación de las aguas del oued Sebú a fin de derivar éstas hacia el oued Innauen. Esta derivación se realiza mediante la galería de Matmata (Figura 1); galería que con un diámetro interior de 4.5 m permite el tránsito de un caudal máximo de 38 m<sup>3</sup>/s. Al final de su recorrido se encuentra una central destinada a la producción de energía hidroeléctrica mediante aprovechamiento de los más de 185 m. de desnivel existente entre los dos embalses.

También como parte interesada de este sistema y como elemento que va a condicionar el modo en como se deberá gestionar el sistema del Alto Sebú, hemos de mencionar la ciudad de Fes. Dicha ciudad, considerada como patrimonio cultural por la UNESCO desde los años ochenta, desarrolla una importante actividad económica en el conjunto del país, la más importante con mucho en la región, basada principalmente sobre todo en el turismo y en las industrias artesanales, textiles y agro-alimentarias. El desarrollo de



estas actividades ha provocado un aumento considerable del consumo de agua en los últimos años hasta alcanzar un valor que se cifra en la actualidad en 2,6 m<sup>3</sup>/s (O.N.E.P., 1994). Este aumento ha comportado que los acuíferos que constituían la fuente tradicional de abastecimiento de agua a la ciudad estén resultando insuficientes.

La fuente histórica más tradicional de suministro la forman una serie de fuentes y sondeos pocos profundos que drenan ciertos niveles de conglomerados y calizas del Plioceno sobre los que se asienta la ciudad de Fez (Figura 4). Estos materiales actúan en conjunto como un acuífero libre que cada vez ha tenido menor participación como fuente de recursos hídricos para la ciudad. La evolución reciente de los caudales suministrados así lo demuestra. De los 126 l/s de 1987 se ha pasado a 41 l/s en 1994, es decir, 7% y 2%, respectivamente, del total suministrado a la ciudad. Este descenso se debe esencialmente a la disminución de la recarga natural que reciben dichos

acuíferos como consecuencia de su sobreexplotación. Asimismo, hay que resaltar que cierta contaminación bacteriológica ha empezado a afectar a este acuífero como consecuencia de la infiltración de aguas residuales (HAITE, 1990). Ambos factores, recarga insuficiente y merma de calidad, hacen prever que los caudales que este acuífero puede aportar al conjunto han de ser cada vez menor.

Por otra parte, desde hace escasas décadas se ha comenzado a explotar el acuífero cautivo constituido por las calizas liásicas existentes en la región (Figura 4). En la actualidad estos recursos aportan aproximadamente el 75% de los aportes que recibe la ciudad de Fez. No obstante, las dificultades encontradas en la perforación de nuevos sondeos, algunos de los cuales superan ya los 1000 metros de profundidad, así como la insuficiente recarga constatada en este acuífero por pérdidas continuadas y sucesivas de presión, hacen prever que la explotación de estos recursos esté igualmente limitada.

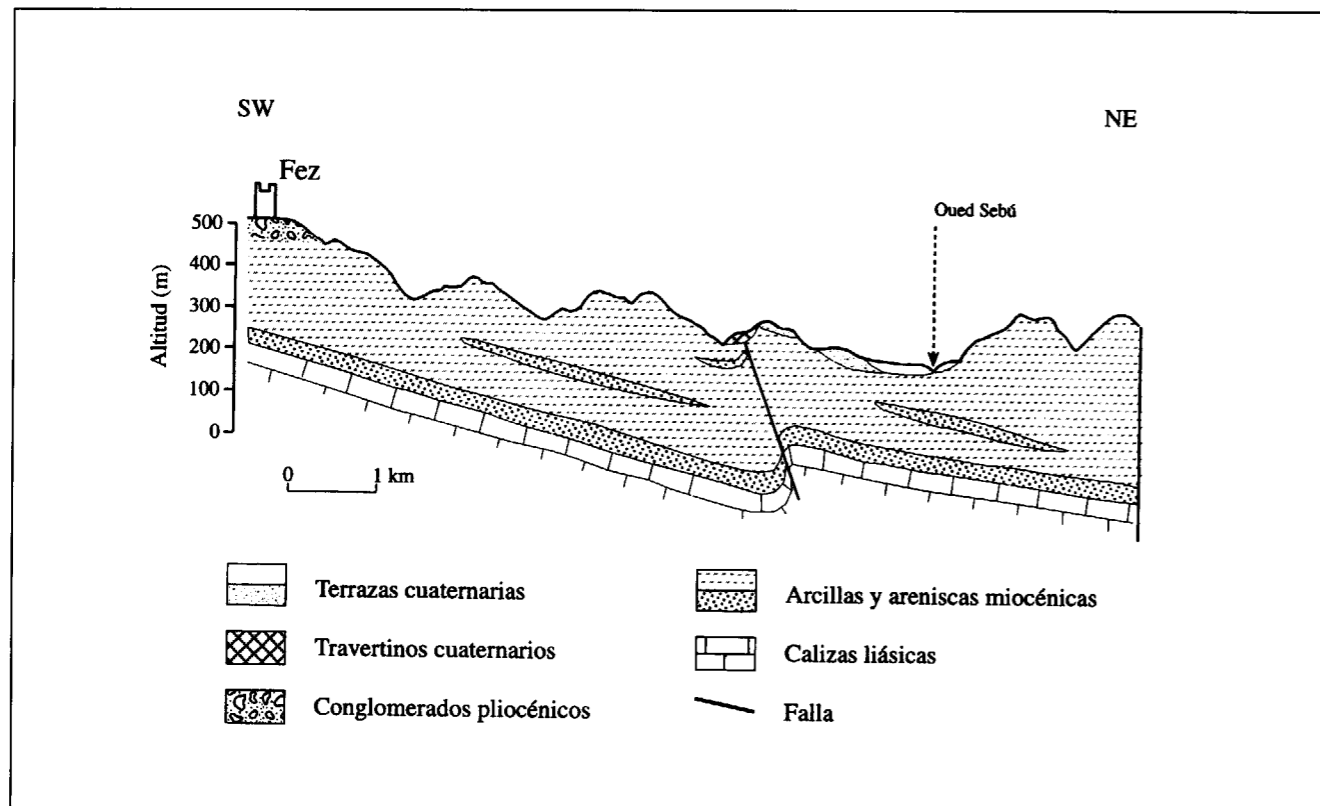


Figura 4: Esquema geológico de los acuíferos explotados para el abastecimiento a la ciudad de Fez.

Dadas las dificultades encontradas en ambos acuíferos, libre y cautivo, para abastecer a la ciudad de Fez, no ha de extrañar que se haya recurrido al bombeo directo de las aguas superficiales del oued Sebú. En la actualidad el porcentaje así suministrado por dicho oued es superior al 20%, valor, que si bien puede parecer modesto, va a ir necesariamente en aumento debido a la insuficiente recarga de los acuíferos explotados.

Desde otro punto de vista, la ciudad de Fez, además de constituir un centro de consumo importante, actúa como un foco de contaminación que limita el uso de las aguas superficiales del oued Sebú aguas abajo de Fez. Del orden del 50 - 60% de las aguas suministradas a Fez son devueltas al cauce del oued Sebú como aguas residuales urbanas sin tratamiento previo. Ello comporta que desde el embalse de Alal el Fasi deba derivarse un cierto caudal ecológico destinado a reducir la carga contaminante abocada de este modo al oued Sebú.

Nos encontramos, pues en resumen, con un sistema compuesto de dos embalses, comunicados hídricamente mediante la galería de Matmata, y cuyo principal objetivo es servir como centro productor de energía hidroeléctrica. Otros objetivos colaterales en la gestión de dichos embalses son los de servir como elementos reguladores de las avenidas, garantizar el consumo de agua potable a la ciudad de Fez y mantener un cierto caudal ecológico aguas abajo de Fez. El cumplimiento de estos otros objetivos distintos del principal provoca que cada unidad de agua que se destine a estos otros fines no discurra por la galería de Matmata y la presa Idriss I<sup>a</sup>, produciéndose con ello una disminución de producción de electricidad. El modelo de gestión que a continuación se presenta tiene por objeto analizar las consecuencias que, en términos de pérdidas de producción de electricidad, se derivan del cumplimiento de algunos de los mencionados objetivos colaterales.

#### MODELO DE GESTION

Dada la naturaleza no lineal que generalmente comporta el considerar sistemas hídricos destinados a optimizar la producción de electricidad, hemos considerado que lo más adecuado es el uso de la programación dinámica. Dicha técnica,

desarrollada inicialmente por BELLMAN (1957) e introducida en el campo de gestión de sistemas hídricos por BURAS (1963) ha sido objeto, por los motivos comentados, de aplicación a situaciones que también pretenden la maximización de la producción de energía eléctrica. Además, una revisión realizada por distintos autores (YEH, 1985; YAKOWITZ, 1982), sobre problemas de gestión similares, concluyen que dicha técnica se cuenta entre las más adecuadas a los objetivos propuestos. En nuestro caso hemos generado un modelo de programación dinámica estocástica siguiendo la notación de (LOUCKS et al., 1981) pero transformada a notación vectorial para adaptarla al caso que nos ocupa. Como resultado, la función recursiva de nuestro modelo de gestión adquiere la forma:

$$F^n(\mathbf{V}^k, \mathbf{E}^i) = \max (g(\mathbf{V}^k, \mathbf{E}^i, \mathbf{V}^i) + \sum P^{ij} F^{n-1}(\mathbf{V}^i, \mathbf{E}^j))$$

siendo:

**V**: Vector de volúmenes almacenados en los embalses Idriss I<sup>a</sup> y Alal el Fasi  $\mathbf{V} = (V_I, V_A)$

**E**: Vector de entradas a los embalses Idriss I<sup>a</sup> y Alal el Fasi  $\mathbf{E} = (E_I, E_A)$

**k, l**: Índices indicativos del vector (**V**) de volúmenes almacenados discretizados para los periodos  $t$  y  $t+1$ , respectivamente.

**i, j**: Idem para las entradas (**E**), discretizadas, a los embalses en los periodos  $t$  y  $t+1$ , respectivamente.

$F^n$ : Máximo valor esperado de producción de electricidad cuando falta por tomar un número  $n$  de decisiones.

$P^{ij}$ : Probabilidad de recibir el vector de entradas  $\mathbf{E}_j$  cuando en el período anterior se recibieron las entradas  $\mathbf{E}_i$ . Estas probabilidades, se estimaron a nivel mensual (MAZOUZI, 1996) a partir de los datos disponibles de caudales de entradas de los embalses de Idriss I<sup>a</sup> y de Alal el Fasi obteniendo los valores que se presentan en las Tablas I y II.

$g(\mathbf{V}^k, \mathbf{E}^i, \mathbf{V}^i)$ : producción de electricidad asociada al hecho de tener un volumen almacenado  $\mathbf{V}^k$  al

Tabla I : Probabilidades de transición entre entradas (m³/s) para el embalse Alal el Fasi.

		Febrero								Julio									
Enero	Entradas	5,6	14,3	29,7	43,5	54,1	65,3	93,3	Junio	Entradas	7,1	13,4	21,4						
	7,5	0,42	0,33	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00		6,3	0,86	0,14	0,00						
	15,7	0,00	0,52	0,35	0,04	0,09	0,00	0,00		14,8	0,56	0,44	0,00						
	26,5	0,00	0,06	0,56	0,06	0,19	0,13	0,00		24,0	0,00	0,93	0,07						
	44,6	0,00	0,00	0,25	0,50	0,25	0,00	0,00	33,6	0,20	0,40	0,40							
	52,3	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	0,00	46,3	0,00	0,00	1,00							
	63,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,50	Agosto										
	92,3	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	Julio	Entradas	6,3	12,1							
										7,1	1,00	0,00							
								13,4		0,45	0,55								
Febrero	Entradas	8,5	16,0	32,1	44,7	55,7	62,6	73,9	86,0	Agosto	Entradas	6,7	11,5	28,2					
	5,6	0,40	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		6,3	0,90	0,05	0,05					
	14,3	0,06	0,47	0,29	0,12	0,06	0,00	0,00	0,00		12,1	0,41	0,59	0,00					
	29,7	0,00	0,04	0,57	0,13	0,13	0,00	0,13	0,00	Septiembre									
	43,5	0,00	0,00	0,00	0,50	0,25	0,00	0,00	0,25	Septiembre	Entradas	6,7	11,5	28,2					
	54,1	0,00	0,00	0,29	0,00	0,14	0,14	0,14	0,29		6,3	0,90	0,05	0,05					
	65,3	0,00	0,00	0,00	0,50	0,25	0,25	0,00	0,00		12,1	0,41	0,59	0,00					
	93,3	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	Octubre									
												Octubre	Entradas	6,6	13,2	21,2			
											6,7		0,75	0,23	0,02				
											11,5		0,20	0,67	0,13				
Marzo	Entradas	8,2	15,8	31,7	44,8	56,4	64,1	75,4	94,8	Noviembre	Entradas	6,9	14,1	26,3	41,6				
	8,5	0,33	0,34	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		6,6	0,72	0,22	0,03	0,03				
	16,0	0,00	0,50	0,42	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00		13,2	0,24	0,57	0,14	0,05				
	32,1	0,00	0,17	0,55	0,05	0,05	0,13	0,00	0,05	Diciembre	Entradas	7,3	14,6	28,2	43,9	63,9			
	44,7	0,00	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,29	0,00		6,9	0,58	0,20	0,16	0,03	0,03			
	55,7	0,00	0,00	0,25	0,12	0,50	0,00	0,00	0,13		14,1	0,18	0,59	0,18	0,05	0,00			
	62,6	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,3	0,00	0,20	0,80	0,00	0,00				
	73,9	0,00	0,00	0,00	0,50	0,25	0,25	0,00	0,00	Enero									
	86,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,34	0,00	0,33	Diciembre	Entradas	7,5	15,7	26,5	44,6	52,3	63,6	92,3	
											7,3	0,48	0,33	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	
											14,6	0,09	0,55	0,32	0,04	0,00	0,00	0,00	
											28,2	0,00	0,22	0,29	0,21	0,07	0,14	0,07	
											43,9	0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	
											63,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
											7,5	0,08	0,83	0,00	0,09	0,00			
											15,7	0,00	0,70	0,26	0,04	0,00			
											26,5	0,12	0,13	0,75	0,00	0,00			
											44,6	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00			
											52,3	0,00	0,33	0,00	0,67	0,00			
											63,6	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50			
											92,3	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50			

Tabla II : Probabilidades de transición entre entradas (m³/s) para el embalse de Idriss I<sup>o</sup>.

		Febrero								Agosto									
Enero	Entradas	4,5	14,7	31,9	51,0	91,8	113,9	174,2	Julio	Entradas	1,8	14,4							
	5,1	0,65	0,00	0,23	0,12	0,00	0,00	0,00		2,8	1,00	0,00							
	16,5	0,23	0,35	0,18	0,12	0,06	0,00	0,06		13,5	0,50	0,50							
	31,0	0,00	0,11	0,34	0,22	0,22	0,11	0,00	Septiembre										
	52,4	0,00	0,25	0,50	0,00	0,00	0,25	0,00	Agosto	Entradas	2,1	13,4							
	71,9	0,00	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00	0,00		1,8	0,98	0,02							
	145,4	0,00	0,00	0,00	0,17	0,00	0,33	0,50		14,4	1,00	0,00							
												Octubre							
												Septiembre	Entradas	3,2	12,0	27,6			
											2,1		0,91	0,06	0,03				
											13,4		1,00	0,00	0,00				
Febrero	Entradas	5,6	16,2	27,8	57,1	81,6	137,7	Noviembre											
	4,5	0,73	0,07	0,07	0,07	0,06	0,00	Entradas											
	14,7	0,63	0,12	0,12	0,00	0,13	0,00	5,0	13,8	22,1	40,8								
	31,9	0,08	0,46	0,00	0,15	0,31	0,00	3,2	0,78	0,16	0,02	0,04							
	51,0	0,00	0,12	0,12	0,50	0,13	0,13	12,0	1,00	0,00	0,00	0,00							
	91,8	0,00	0,33	0,00	0,67	0,00	0,00	27,6	0,00	0,00	0,50	0,50							
	113,9	0,00	0,00	0,25	0,25	0,25	0,25	Diciembre											
	174,2	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	Noviembre	Entradas	5,6	15,0	29,8	53,6	88,8	139,1				
												5,0	0,53	0,21	0,09	0,10	0,02	0,05	
											13,8	0,63	0,12	0,12	0,13	0,00	0,00		
											22,1	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00		
											40,8	0,00	0,33	0,67	0,00	0,00	0,00		
											Enero								
											Diciembre	Entradas	5,1	16,5	31,0	52,4	71,9	145,4	
												5,6	0,41	0,41	0,11	0,07	0,00	0,00	
												15,0	0,27	0,27	0,37	0,00	0,09	0,00	
												29,8	0,43	0,29	0,00	0,14	0,00	0,14	
												53,6	0,00	0,20	0,00	0,20	0,00	0,60	
												88,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	
												139,1	0,00	0,00	0,50	0,00	0,50	0,00	
												5,1	0,08	0,83	0,00	0,09	0,00		
											15,7	0,00	0,70	0,26	0,04	0,00			
											26,5	0,12	0,13	0,75	0,00	0,00			
											44,6	0,00	0,50	0,50	0,00	0,00			
											52,3	0,00	0,33	0,00	0,67	0,00			
											63,6	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50			
											92,3	0,00	0,00	0,25	0,25	0,50			



principio del período  $t$ , un volumen  $V^i$ , al final del mismo período o inicio del siguiente, cuando las entradas vienen dadas por  $E^i$ .

Para el cálculo de la producción de electricidad en KWH, utilizaremos la siguiente expresión (LOUCKS et al., 1981):

$$\frac{e9,81qHt}{36000}$$

donde:

$e$ : coeficiente de eficacia de producción de electricidad, que según datos suministrados (M.T.P., 1992), se ha estimado en un valor de 0.87 tanto para la producción de electricidad de la galería de Matmata como para el embalse de Idriss I<sup>o</sup>.

$H$ : desnivel del salto en metros. El desnivel  $H$  que ha de salvar el volumen de agua que circula por la galería de Matmata es de 185 m. Para el embalse Idriss I<sup>o</sup>, este desnivel es función del volumen almacenado en cada momento,  $H(V^i)$ , tal como se puede observar en la Figura 5.

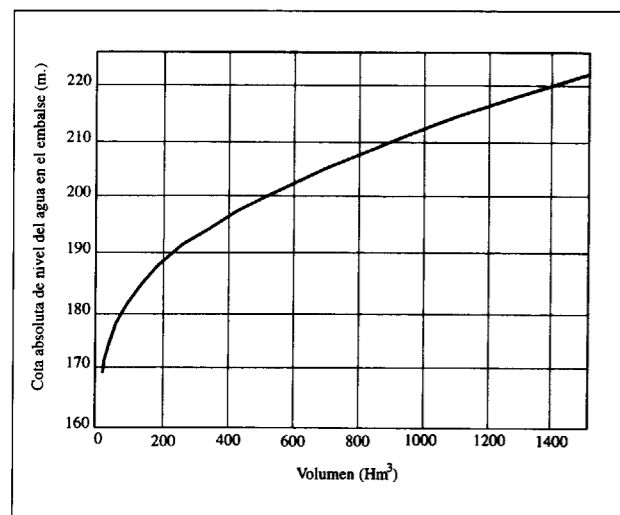


Figura 5: Relación entre volumen de agua almacenado en el embalse Idriss I<sup>o</sup> y nivel de agua.

$q$ : caudal medio en  $m^3/s$  que discurre por las turbinas durante el período  $t$  (segundos). Los caudales a circular por las turbinas pueden obtenerse de las ecuaciones de transición propias del

sistema y que corresponden simplemente al balance de masa que se ha de cumplir en cada embalse:

Así para Idriss I<sup>o</sup> debe cumplirse:

$$V_1^k + E_1^i - Q_1 + Q_{A1} = V_1^i$$

Mientras que para Alal el Fasi ha de cumplirse

$$V_A^k + E_A^i - Q_A - Q_{A1} = V_A^i$$

donde  $Q_{A1}$  representa el volumen de agua que discurre desde Alal el Fasi hacia Idriss I<sup>o</sup> por la galería de Matmata, mientras que los términos  $Q_1$  y  $Q_A$  indican las sueltas directas, aguas abajo, de los embalses Idriss I<sup>o</sup> y Alal el Fasi respectivamente. Son esos valores de  $Q_{A1}$  y  $Q_1$  los que permiten el cálculo de la producción de electricidad mediante la ecuación anteriormente expuesta.

Por otra parte, la resolución del anterior sistema de ecuaciones debe hacerse atendiendo a las restricciones propias del sistema. Así, ha de cumplirse que el caudal que discurre por la galería de Matmata ha de ser inferior a la capacidad máxima de dicha galería, calculada en  $38 m^3/s$  ( $Q_{A1} < 38 m^3/s$ ). Asimismo, el caudal que se deriva del embalse de Alal el Fasi directamente al oued Sebú sin circular por la galería de Matmata ha de ser superior a un umbral determinado ( $Q_A > U$ ). El valor asignado a dicho umbral ( $U$ ) ha de ser suficiente para cumplir con el abastecimiento a la ciudad de Fez o el mantenimiento de un caudal ecológico. La asignación, como se verá, de distintos valores numéricos a dicho umbral nos permitirá analizar la repercusión de distintas situaciones en la producción de electricidad del sistema.

Una vez ya construido y descrito el modelo de gestión que atiende al conjunto de circunstancias existentes no resta más que aplicarlo a fin de evaluar, en términos de producción de electricidad, las repercusiones de la derivación de las aguas del oued Sebú, bien para consumo de agua potable de la ciudad de Fez, bien para mantenimiento de un cierto caudal ecológico.

Así, la aplicación de dicho modelo a una situación que podríamos denominar de búsqueda de máxima producción de electricidad, es decir, una situación en que se supone que no existe ningún compromiso de derivar aguas desde Alal el Fasi hacia el oued Sebú ( $U = 0 m^3/s$ ), nos muestra que

la producción media anual de electricidad puede ser del orden de 405 GWH/año. Este valor debe considerarse como un valor límite superior de producción de electricidad, dadas las capacidades actuales de los embalses. A partir de aquí todo compromiso de derivación de agua hacia la ciudad de Fez o para otros fines desde Alal el Fasi, ha de introducir necesariamente disminuciones en la producción de electricidad.

La siguiente situación analizada corresponde a la del actual compromiso de sueltas. Hemos valorado que tal situación representa soltar desde el embalse de Alal el Fasi del orden de  $2 Hm^3/mes$  ( $U = 0,8 m^3/s$ ). Con esta condición, la producción media anual de electricidad resultante se reduce a 392,8 GWH/año. Es decir, la derivación de agua del oued Sebú para cubrir con los compromisos de abastecimiento a la ciudad de Fez provoca, en términos de producción de electricidad, una disminución del orden del 3%.

Por último supondremos una situación de total compromiso de abastecimiento desde Alal el Fasi. Esta situación pretende analizar las repercusiones en pérdidas de producción de electricidad en el supuesto de que las distintas fuentes de suministro a la ciudad de Fez fuesen incapaces de abastecer a dicha ciudad y se hubiese de recurrir al oued Sebú como única fuente de suministro. A fin de admitir un cierto caudal ecológico a lo largo del oued Sebú supondremos que el caudal a suministrar ha de ser de unos  $7,8 Hm^3/mes$  ( $U = 3 m^3/s$ ). La producción media anual de electricidad se reduce entonces a un valor medio de 356,7 GWH/año. Es decir, se reduce aproximadamente un 12% respecto a la máxima producción de electricidad calculada anteriormente.

## CONCLUSIONES

La cuenca del oued Sebú se cuenta entre las cuencas hidrológicamente más importantes de Marruecos lo que justifica que sea objeto prioritario de regulación de sus caudales mediante la construcción de un sistema de embalses. De entre ellos, hemos denominado los embalses de Alal el Fasi e Idriss I<sup>o</sup>, situados aguas arriba de la confluencia del oued Sebú con el oued Innauen, como sistema del Alto Sebú. Dicho sistema además de servir para la regulación de los caudales

ha de garantizar un caudal mínimo bien para abastecimiento a la ciudad de Fez, bien como caudal ecológico. Sin embargo, cada metro cúbico que se divierte para estos menesteres representa una pérdida de energía eléctrica.

A fin de analizar las repercusiones, en términos de energía eléctrica, que dicha práctica representa, se ha construido un modelo de gestión del sistema del Alto Sebú. Se ha considerado que la técnica matemática más adecuada la constituye la programación dinámica estocástica, tal es el particular tratamiento que dicha técnica realiza cuando el objetivo de un modelo de gestión consiste en la producción de electricidad, así como la consideración de la estocasticidad de las entradas.

La aplicación de esta técnica a las características físicas reales de la región de estudio se ha hecho atendiendo a las demandas a la ciudad de Fez.

Los resultados de la solución de los cálculos de la función recursiva de nuestro modelo de gestión del sistema que nos ocupa posibilita una producción máxima de electricidad del orden de 405 GWH/año. Esta producción se reduce en un 3% (392,8 GWH/año) cuando se han de suministrar del orden de  $2 Hm^3/mes$  a la ciudad de Fez; esta cantidad, es aproximadamente el caudal que actualmente se suministra a dicha ciudad desde el oued Sebú. Por último, la producción de electricidad se reduce del orden de 12% (356,7 GWH/año) en el supuesto de que todo el consumo actual de la ciudad de Fez, más un cierto caudal ecológico para el río Sebú ( $0,7 m^3/s$ ), se deben suministrar desde la presa de Alal el Fasi.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la concesión de las becas concedidas a dos de los autores por parte de la Agencia Española de Cooperación Internacional dependiente del Instituto de Cooperación con el Mundo Árabe, Mediterráneo y Países en Desarrollo.

## REFERENCIAS

BELLMAN, N. (1957): *Dynamic Programming*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.

BURAS, N. (1963): *Conjunctive operation of dams and aquifers*. J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng., (Hy6), 89, 111-131.

COMBE, M. (1975): *Plaines et bassins du Maroc atlantique*. Ressource en eau du Maroc. t 2, Not. et Mém. Serv.Géol., Maroc, nº 231, 72-92.

D.R.P.E. (1994): *Registre des bilans hydrique des barrages de Alal el Fasi et de Idriss I<sup>er</sup>*. Direction de la Recherche et de la Planification de l'Eau. Direction de la region hydraulique de Sebou-Fez-Maroc. Fez.

HAITE, M. (1990): *Eléments de réponse pour une meilleure maîtrise des pollutions et gestion des eaux usées a Fez*. Thèse. Université My Ismail. Meknez. Maroc.

M.T.P.C. (1973): *Construction du barrage de Idriss I<sup>er</sup>*. Ministère de Travaux Publics et de Communications. Rabat. 25 pp.

M.T.P. (1992): *Derivation d'Ait Youb - Matmata*. Ministère de

Travaux Publics, de la Formation Professionnelle et de la Formation des Cadres. Rabat. 29 pp.

LOUCKS, D.P., Stedinger, J.R., and Haith, D.A. (1981): *Water Resource Systems Planning and Analysis*. Ed. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, NJ, 559 pp.

MAZOUZI, A. (1996): *Valoración de una posibilidad de abastecimiento de agua para la ciudad de Fez (Marruecos)*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Barcelona. 211 pp.

O.N.E.P. (1994): *Registre de l'alimentation en eau potable de la ville de Fez*. Office Nacional de l'Eau Potable. Rabat.

YAKOWITZ, S. (1982): *Dynamic programming applications in water resources*. Wat. Resour. Res., 18(4), 673-696.

YEH, W. W-G. (1985): *Reservoir management and operations models: a state-of-the art review*. Wat. Resour. Res., 21(12), 1797-1818.

Original recibido: Septiembre 1997.

Original aceptado: Enero 1998.

## EVALUACION DE LA CAPACIDAD DE USO AGRICOLA Y FORESTAL DEL SUELO MEDIANTE UN SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA EN EL SECTOR TORRELAGUNA-LA CABRERA (MADRID).

Por L. ALCALA DEL OLMO BOBADILLA (\*), T. OLMOS PALOMERO (\*) y Y. MARTIN FERRERO (\*)

### R E S U M E N

En el área comprendida entre Torrelaguna y La Cabrera (Madrid) se ha aplicado la metodología propuesta por el programa CORINE para efectuar la evaluación de la capacidad de uso del suelo, mediante la integración de diversos tipos de datos, tanto edáficos como climáticos, topográficos, de vegetación y de mejoras del suelo por infraestructura añadida.

La aplicación de un Sistema de Información Geográfica (GIS) al método de evaluación seguido, ha permitido calcular, como resultado final del trabajo, los mapas de capacidad potencial y actual del suelo, en los que se observa que casi la mitad de la zona estudiada se encuentra incluida en la clase de capacidad de uso moderada, una tercera parte en la de capacidad baja y el resto, unos 12 km<sup>2</sup>, en la alta, localizándose preferentemente estos últimos en el ángulo suroriental del área investigada, al sur de Torrelaguna.

*Palabras clave:* Evaluación. Sistemas de Información Geográfica. Torrelaguna-La Cabrera (Madrid).

### A B S T R A C T

In the area extended between Torrelaguna and La Cabrera (Madrid) a methodology proposed by the CORINE programme has been applied in order to evaluate soil use capacity, by means of integrating different type of data, edaphic as well as climatic, topographical, vegetation and soil improvement by added infrastructure.

The use of a Geographical Information System (GIS) in the evaluation method has allowed us to calculate, as the final outcome of our work, soil maps of potential and present capacity. We notice that almost half of the studied zone has been included in the moderate use capacity class, one third in the low capacity and the rest, about 12 Km<sup>2</sup>, in the high one. The latter being mainly found in the southeast angle of the researched area, south of Torrelaguna.

*Key words:* Land evaluation. Geographical Information Systems. Torrelaguna-La Cabrera (Madrid).

### INTRODUCCION

El suelo es un recurso natural no renovable a la escala del tiempo humano, siendo su importancia vital para el desarrollo de una gran parte de las actividades que lleva a cabo el hombre de

forma cotidiana. La multiplicidad de usos alternativos que, en muchos casos, no se adaptan de una forma adecuada a las características que presenta el propio suelo, disminuye en cierta medida los rendimientos que podrían obtenerse en el caso de un aprovechamiento óptimo. Por tanto, la necesidad de una evaluación de sus condiciones de utilización agrícola y forestal se ha convertido actualmente en una actividad prioritaria que permita determinar cuales son las áreas

(\*) Departamento de Conservación de Suelos. Centro de Ciencias Medioambientales. CSIC. Serrano, 115 dpdo. 28006 Madrid.



que presentan una mayor idoneidad para un cierto tipo de aprovechamiento, a la vez que su rentabilidad económica sea la más alta posible.

Son muchos los diferentes sistemas que se han propuesto a lo largo del tiempo para llegar a evaluar la aptitud o capacidad de uso de los suelos, considerando tanto las características intrínsecas del propio suelo como las de otros factores del medio ambiente con incidencia directa sobre sus posibilidades de utilización.

Uno de los primeros sistemas de clasificación de la capacidad de uso fue el desarrollado por el USDA (KLINGEBIEL y MONTGOMERY, 1961), fundamentalmente de tipo interpretativo, a partir del cual se han elaborado un considerable número de diferentes metodologías, entre las que destacaremos la proporcionada por MCRAE y BURNHAM (1981).

Dentro de estos diferentes sistemas sobresale el propuesto por la FAO (FAO, 1976) que, en cierto modo, ha servido como punto de partida de otros muchos que han visto la luz con posterioridad. Concretamente, en España se han desarrollado varios sistemas de evaluación que, aunque similares en su concepción, han seguido diferentes metodologías, dando distinta importancia a unos u otros factores, de acuerdo al área en que se han desarrollado y a los fines propuestos. En líneas generales, se aprecia un neto predominio de los sistemas de evaluación de suelos desarrollados en el área mediterránea (SANCHEZ et al., 1984; SANCHEZ y AÑO, 1993; AGUILAR y ORTIZ, 1992; SIERRA et al., 1992; etc.), con numerosas aplicaciones en distintas zonas que han mostrado la validez de las metodologías utilizadas.

De forma similar, se han desarrollado también otros sistemas de evaluación para diferentes zonas peninsulares, como los desarrollados para Galicia por DIAZ-FIERROS y GIL (1984) y por MONTURIOL y ALCALA DEL OLMO (1990) para la Comunidad de Madrid, en los que se tienen en cuenta una serie de propiedades del suelo y un conjunto de factores limitantes en mayor o menor grado.

En general, la mayor parte de los métodos de evaluación vigentes responden a un sistema común de tipo paramétrico, obteniéndose una

serie de índices parciales como resultado de la interacción de distintas características del suelo y del medio que, multiplicados entre sí, permiten obtener un índice general de la capacidad de uso del suelo estudiado o de la unidad cartográfica investigada.

La aparición del programa CORINE (CORINE, 1992) para el ámbito de la Unión Europea, en el que no sólo se muestra un sistema simplificado para el cálculo cualitativo de la erosión hídrica sino también de la evaluación de la calidad del suelo, tanto para fines agrícolas como no agrícolas, permite la integración conjunta de un sistema de evaluación de suelos con la metodología utilizada por los Sistemas de Información Geográfica (GIS), facilitando enormemente el proceso de evaluación a la vez que permite la obtención inmediata de la correspondiente representación cartográfica.

La investigación que hemos realizado se enmarca dentro de esta línea de trabajo, tratando de obtener un cálculo de las distintas clases de capacidad de uso del suelo, tanto a nivel potencial como actual, a partir de una serie de factores de tipo edáfico, climático y topográfico del área estudiada y que enlaza con un trabajo previo sobre la misma zona, en el que se evalúan los riesgos de erosión hídrica (ALCALA DEL OLMO y OLMOS, 1995).

## MATERIAL Y METODOS

La metodología propuesta por el Programa CORINE para desarrollar un modelo de calidad del terreno se basa en integrar características del suelo (textura, profundidad de suelo y drenaje) con aspectos climáticos (índice de aridez, período vegetativo y riesgos de heladas) topografía y mejoras del terreno por infraestructura añadida (presencia de regadío, drenajes o aterrazamientos).

En primer lugar se obtiene un **índice de calidad del suelo (ICS)**:

$$ICS = T \times P \times D$$

como resultado del producto de tres parámetros: textura (T), profundidad de suelo (P) y drenaje (D) del mismo. La textura se clasifica de acuerdo con

el triángulo propuesto por el USDA, en tres categorías diferentes (buena, moderada o mala). En cuanto a la profundidad se diferencian también tres clases y, finalmente, el estado de drenaje del suelo se refiere a la presencia o ausencia de problemas de drenaje en el perfil (Fig.1).

A cada punto de la superficie se le asigna un valor correspondiente a cada dato, obtenido a partir de un detallado estudio de los suelos, a escala 1:25.000 en este caso. El resultado final es un mapa del **índice de calidad del suelo**.

En segundo lugar, hay que integrar los aspectos climáticos, con el objeto de obtener un **índice de calidad climática** que quede reflejado en un mapa. Para esto, un primer elemento de medida es el período vegetativo, que representa los meses en los cuales la temperatura media supera los 5°C, que permite el crecimiento de las plantas. Esta medida representa un factor limitante en áreas mediterráneas debido a la aridez estacional del clima. Probablemente, una medida más idónea sea considerar la precipitación. El cálculo de la precipitación efectiva es relativamente complejo, ya que requiere algunos conocimientos de las condiciones del suelo y de la vegetación. Sin embargo, puede usarse el **índice de aridez de Bagnouls-Gaussen** (GAUSSEN, 1955) que viene dado por:

$$IBG = \sum_{i=1}^{12} (2t_i - P_i)k_i$$

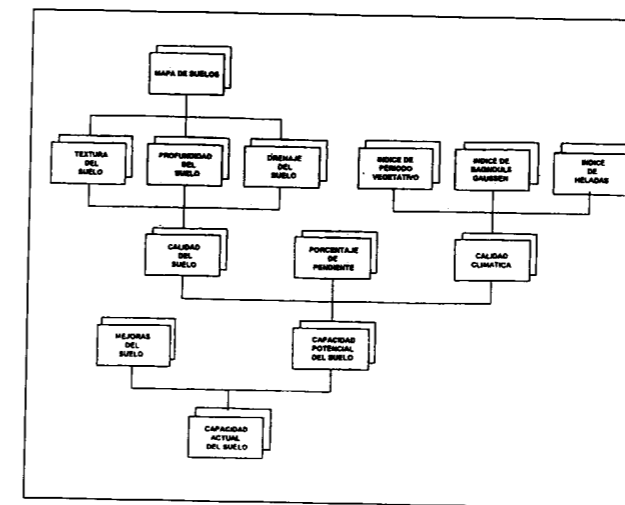


Figura 1

siendo  $t_i$  la temperatura media del mes  $i$ ,  $P_i$  la precipitación total del mes  $i$  y  $k_i$  la proporción del mes  $i$  durante el cual  $2t_i - P_i$  es mayor que 0.

El problema para el cálculo de este índice es el reducido número de estaciones termopluviométricas existentes en el área de estudio y la consecuente dificultad de asignar un valor determinado para cada punto. La solución que se ha buscado ha sido el uso de métodos geoestadísticos de interpolación espacial con los datos que existían de los ocho observatorios climatológicos más próximos al territorio estudiado. El procedimiento aplicado ha sido el kriging (MATHERON, 1971) que se basa en un análisis previo de autocorrelación espacial de la variable, que permite obtener valores de cada punto calculando los semivariogramas correspondientes, mediante la aplicación de la fórmula:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E[Z(x+h) - Z(x)]^2$$

siendo  $[Z(x+h) - Z(x)]$  una función aleatoria de  $Z$  en los puntos  $x$  y  $x+h$ .

Otro factor que afecta al crecimiento de las plantas es el hielo. Por este motivo, un tercer parámetro que debe incluirse para calcular el índice de calidad climática es el riesgo de heladas, que se basa en considerar el número de días de heladas durante el período vegetativo. El **factor heladas** se define como el número de días en los cuales la temperatura del aire es menor de 0°C. Como en primavera y otoño las heladas son más peligrosas para las plantas, se aplica un factor de ponderación dependiendo de los meses.

El índice de heladas se calcula a partir de la fórmula:

$$FR = \sum_{i=1}^{12} F_i W_i$$

siendo  $F_i$  la media de días con heladas en el mes  $i$  y  $W_i$  el factor de ponderación para el mes  $i$ .

La resultante de multiplicar estas tres variables, de acuerdo a unos rangos preestablecidos, nos proporciona finalmente un índice de calidad climática (ICC):

$$ICC = A \times PV \times H$$

donde A es la clase de aridez, PV el período vegetativo y H el factor de heladas.

El resultado se expresa gráficamente en un mapa que representa tres categorías de calidad: alta, moderada y baja.

Al igual que para calcular los riesgos de erosión del suelo, la topografía del terreno es un elemento importante de valoración; para evaluar la calidad del terreno este factor es un componente esencial. En concreto, el ángulo de pendiente influye en la accesibilidad del área y en su estabilidad.

Así, el producto del mapa de calidad del suelo (ICS) por el mapa de calidad climática (ICC) debe multiplicarse a su vez por el mapa de pendientes (Pd). El resultado de estas operaciones nos permite obtener un mapa de calidad potencial del terreno (ICP).

$$ICP = ICC \times ICS \times Pd$$

Si consideramos que la calidad inherente de los recursos del suelo puede ser modificada en algunos casos por actividades humanas (en particular, el establecimiento de regadíos supone un aumento de la calidad del terreno), y esta consideración la trasladamos al mapa de mejoras del terreno, el resultado final es un mapa de la calidad actual del suelo.

Para tratar esta cantidad de datos, el empleo de un sistema de información geográfica apropiado para los fines propuestos y de manejo simple, se presenta como la herramienta más útil para manejar y gestionar la información empleada. El programa IDRISI (EASTMAN, 1992 a y b) se adapta a la metodología cualitativa para el cálculo de la calidad del terreno. En este estudio se ha utilizado trabajando principalmente en sistema raster.

#### DESCRIPCION DEL AREA

La zona de estudio del presente trabajo se encuentra situada en la Comunidad de Madrid, extendiéndose desde unos 4 Km al sur de Torrelaguna hasta unos 2 Km al norte del Pico de

la Miel, situado en el macizo de La Cabrera, abarcando una superficie total de 88 Km<sup>2</sup>. Desde un punto de vista topográfico, destaca el macizo de La Cabrera, con una altura máxima de 1459 m, la cual desciende progresivamente hasta alcanzar los 685 m al sur de Torrelaguna (Fig. 2a).

Dada la acusada diferencia topográfica, las características climatológicas varían de uno a otro extremo de la zona, pese a la escasa distancia que los separa. El norte se caracteriza por un clima que oscila entre mediterráneo continental templado fresco y mediterráneo frío en las cotas más elevadas. La temperatura media anual varía entre 10 y 12°C. Por el contrario, la zona meridional presenta un clima ligeramente más suave, variando entre el tipo mediterráneo continental templado y el mediterráneo continental templado fresco. Su temperatura media anual oscila entre 12 y 14°C. En cuanto a las precipitaciones, son algo más abundantes en la zona septentrional, donde no suelen bajar de los 600 mm anuales, mientras que en la meridional pueden llegar a descender hasta 450 mm.

Desde el punto de vista litológico, las zonas septentrional y central se encuentran constituidas por rocas graníticas y metamórficas. Los granitos son en su mayoría adamellitas, granitos biotíticos y leucogranitos de grano fino y medio, siendo los primeros los que ocupan la mayor parte de la zona granítica mientras que los leucogranitos se localizan fundamentalmente en el macizo de la Cabrera, llegando hasta el núcleo urbano de El Berrueco (ITGE, 1991).

Los materiales metamórficos se sitúan principalmente en las partes oriental y central de la zona estudiada. Están representados por pizarras y esquistos con intercalaciones de cuarcitas, paraneises y ortoneises glandulares. En la zona más oriental se localizan paraneises con intercalaciones locales de metasamitas, mientras que en la parte central y occidental son sustituidos por ortoneises glandulares. En la zona más oriental se localizan paraneises con intercalaciones locales de metasamitas, mientras que en la parte central y occidental son sustituidos por ortoneises glandulares. En la parte noroccidental aparece una formación metasedimentaria constituida por pizarras, filitas, esquistos y cuarcitas (Fig. 2b).

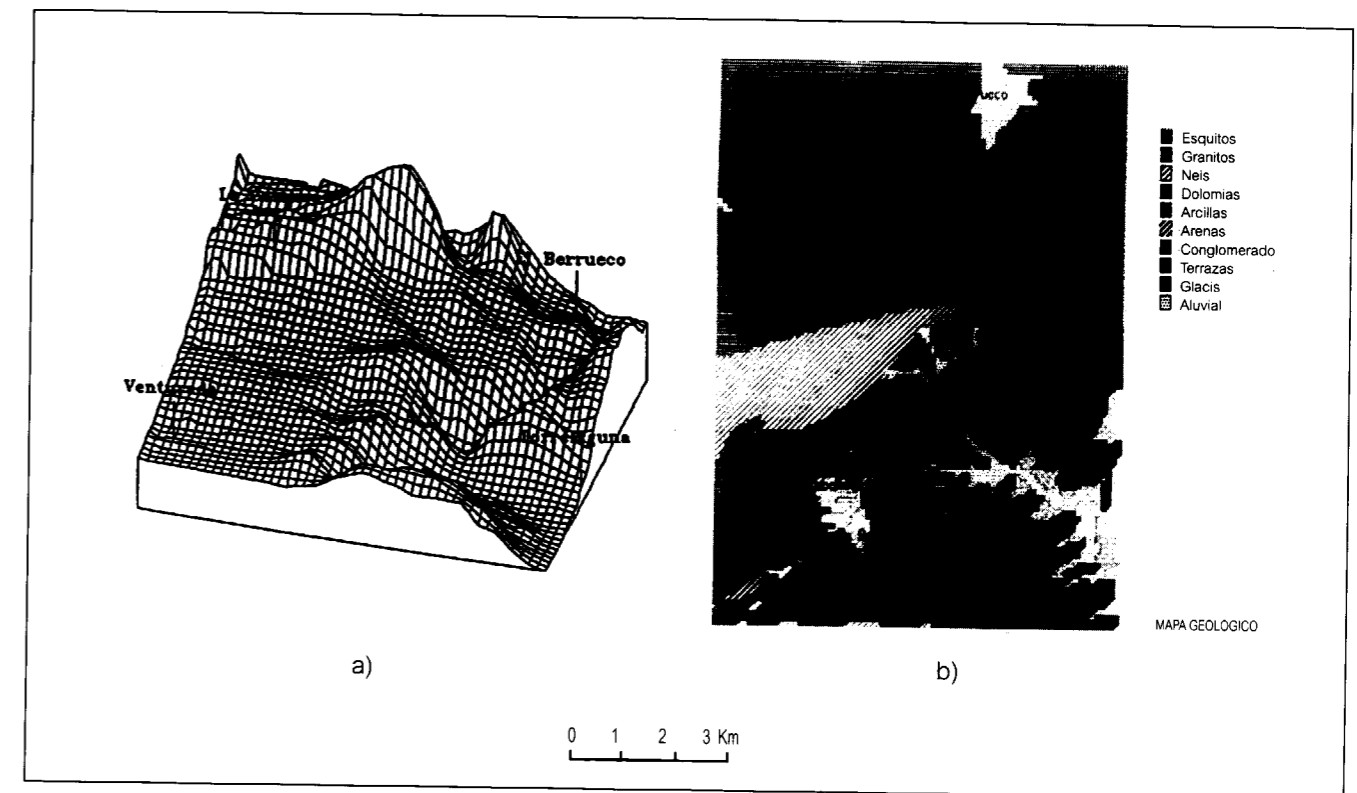


Figura 2

El resto de la zona se encuentra ocupada por materiales sedimentarios con una litología a base de areniscas con cemento dolomítico, dolomías, margas, arenas, arcillas y yesos de edad cretácica. Sobre estos materiales se apoya el Paleógeno y Neógeno constituido por conglomerados polimícticos y arenas, limos y arcillas. Los materiales cuaternarios son también de carácter detrítico (gravas, arenas y limos), constituyendo conos de deyección, terrazas y formaciones aluviales al sur de Torrelaguna (ITGE, 1990).

Los suelos presentan una amplia variedad que hemos resumido en un total de 23 asociaciones en el mapa a escala 1:25.000 realizado, utilizando la nomenclatura de la FAO (FAO, 1989). Entre las unidades representadas son los cambisoles los que alcanzan una mayor extensión al desarrollarse sobre casi todas las litologías. El predominio corresponde a los Cambisoles dísticos (CMd), desarrollados sobre material ácido, acompañados de Cambisoles gleicos (CMg), húmicos (CMu) y eútricos (CMe), estos últimos sobre litologías calcáreas (Fig. 3a).

En las zonas más erosionadas, el predominio neto corresponde a los Leptosoles, siendo los Leptosoles dísticos (LPd) los que cuentan con mayor representación espacial. Los Leptosoles líticos (LPq) alcanzan un desarrollo importante en el extremo noroccidental y son los Leptosoles úmbricos (LPu) y réndzicos (LPk) los que ocupan áreas más restringidas.

Las zonas de relleno de materiales están ocupadas por coluviales tanto silíceos como calcáreos. La evolución edáfica en estas áreas ha dado lugar en el primer caso a la formación de Regosoles dísticos (RGd) en las zonas en que la evolución ha sido menor mientras que son los Calcisoles (CLh) y Luvisoles háplicos (LVh) los exponentes de un mayor desarrollo edáfico sobre materiales calcáreos. Con un grado de evolución equivalente, pero sobre litologías ácidas, encontramos Alisoles háplicos (ALh). Sobre los materiales yesíferos, los Gypsisoles cálcicos (GYk) son los suelos más representados.

Desde el punto de vista de la vegetación, predo-



mina el pastizal, bien solo o bien con arbolado de fresnos, encinas o rebollos. También es extensa la superficie cubierta por matorral, en el que es frecuente la asociación con enebros o encinas (MAPA, 1978 y 1981).

El aprovechamiento forestal se limita a pequeños bosquetes de pino negral en la ladera norte del macizo de La Cabrera o a una masa de encinas y quejigos que atraviesa la parte central de la zona estudiada.

Los cultivos agrícolas se desarrollan en la zona meridional, siendo tanto de tipo hortícola en regadío (patata, alfalfa, remolacha, etc.) como de secano (trigo, cebada y centeno), así como pequeñas zonas de viña y olivos junto a Torrelaguna.

## RESULTADOS

El **mapa de calidad del suelo** resulta de la multiplicación de tres capas de información: textura, profundidad y drenaje del suelo. La obtención de estos datos es resultado de la elaboración previa de un mapa de suelos del área, así como del análisis de laboratorio de las muestras recogidas y que han proporcionado los datos requeridos.

En primer lugar, **el mapa de texturas** se presenta dividido en tres clases, de acuerdo al triángulo de texturas del USDA (Dpto. de Agricultura de Estados Unidos):

débil: arenosa, limosa, arcillosa y arcillo-limosa.

moderada: arcillo-arenosa, franco-limosa y franco-arcillo-limosa.

alta: franco-arcillosa, franco-arcillo-arenosa, franco-arenosa, arenosa-franca y franca.

En relación a los porcentajes de arena, limo y arcilla, la clase moderada es la que cuenta con una mayor representación (43.7 Km<sup>2</sup>) seguida de la alta (33 Km<sup>2</sup>), mientras que las zonas con débil sólo sobrepasan los 11 Km<sup>2</sup> (Fig. 3d).

En el caso de la **profundidad**, dominan las áreas con profundidades de suelo entre los 25 y 75 cm -moderadas- con una superficie de 35.6 Km<sup>2</sup>, a las

que se aproxima las ocupadas por suelos profundos (> 75 cm) que llegan a alcanzar 32.3 Km<sup>2</sup>. Los suelos poco profundos (< 25 cm) no llegan a sobrepasar los 20 Km<sup>2</sup>, localizándose preferentemente en el Macizo de La Cabrera y en el centro de la zona estudiada (Fig. 3b).

En cuanto al **drenaje** del suelo, entendido como presencia o ausencia de problemas de drenaje en el perfil, el área se caracteriza por la presencia de suelos bien drenados en una superficie de 82.9 Km<sup>2</sup>, mientras que sólo al norte y noroeste existen algunos problemas en una superficie de 5 Km<sup>2</sup> (Fig. 3c).

Siguiendo el procedimiento antes descrito, la multiplicación de estos tres mapas proporciona uno nuevo que determina **el índice de calidad del suelo**.

Con el objeto de obtener el **mapa de calidad climática** del área estudiada, se ha partido de 8 estaciones termopluviométricas próximas a la zona y de las cuales se disponía de datos continuos de al menos los últimos 15 años. Las estaciones consideradas han sido: las de los embalses del Atazar, Puentes Viejas y Pedrezuela y las de los núcleos urbanos de Buitrago, Lozoyuela, Talamanca del Jarama y Bustarviejo (MAPA, 1989).

A partir de los datos de precipitaciones y temperaturas medias mensuales y anuales, se aplicó la fórmula propuesta por Bagnouls-Gaussen para determinar el **índice de aridez**, empleándose el método del kriging de interpolación espacial.

Las clases definidas por CORINE para este índice son: húmeda (clase 1, valor 0), moderadamente húmeda (clase 2, valor entre 0 y 50), seca (clase 3, valor entre 50 y 130) y muy seca (clase 4, valor superior a 130).

La totalidad de la zona estudiada queda incluida en la clase 2, moderadamente húmeda (Fig. 4b).

De igual forma se ha determinado el **índice de heladas**, con un resultado para toda el área incluido en la clase 3 -alta- propuesta por CORINE, con valores superiores a 50 (Fig. 4a). Las otras clases consideradas serían la 2 -moderada-,

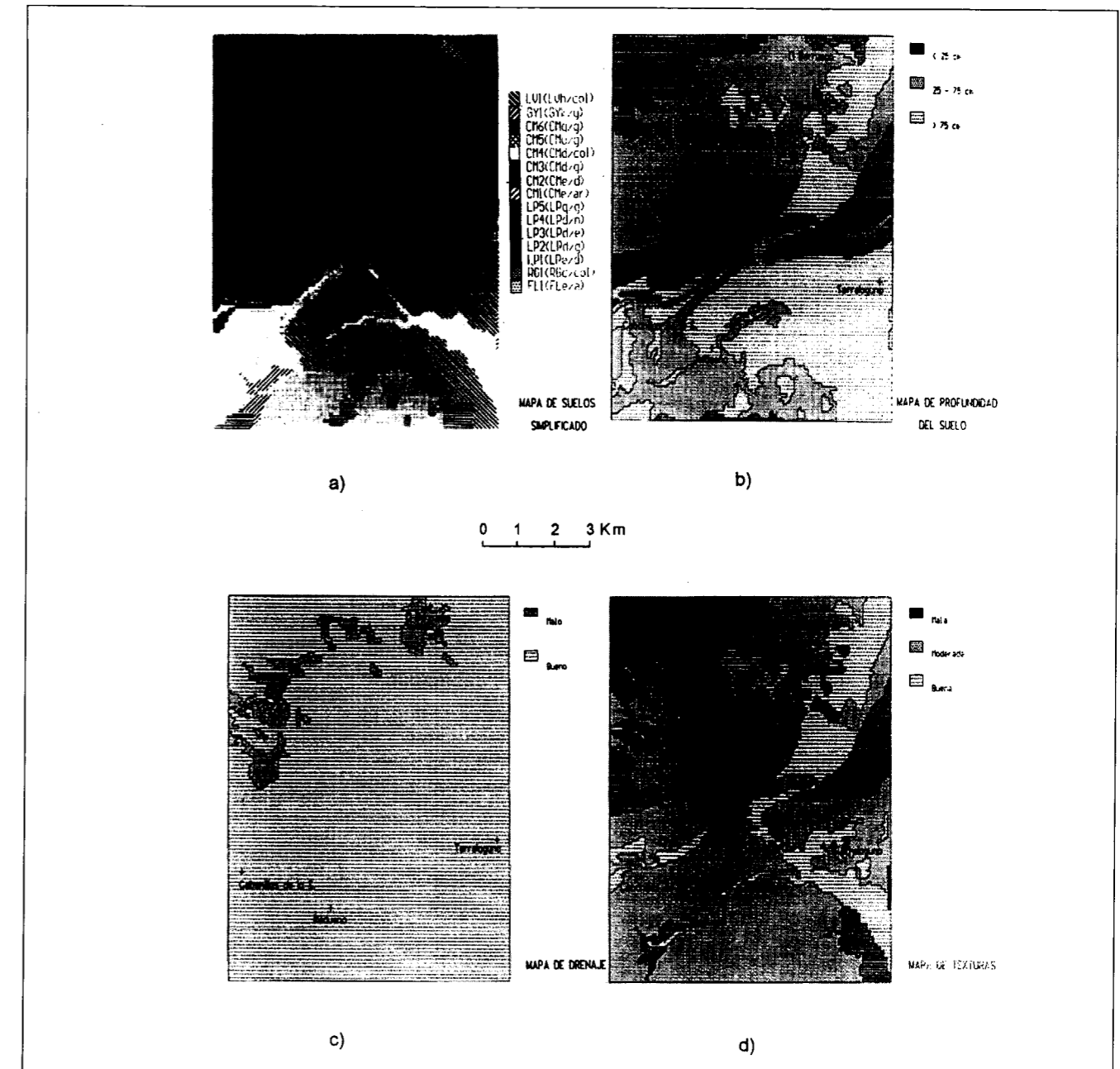


Figura 3

con valores entre 10 y 50 y la 1 -baja- con valores iguales o inferiores a 10.

Finalmente, para calcular el mapa de calidad climática se ha considerado el **período vegetativo**, entendiendo como tal el número de meses durante los cuales la temperatura media excede a

5°C. En este caso, el área ha quedado incluida en la clase 2 -moderada- con valores entre 8 y 11 (Fig. 4c). Valores inferiores a 8 estarían incluidos en un período vegetativo corto (clase 3) y superiores a 11 en un período largo (clase 1).

El resultado de la superposición de estas tres



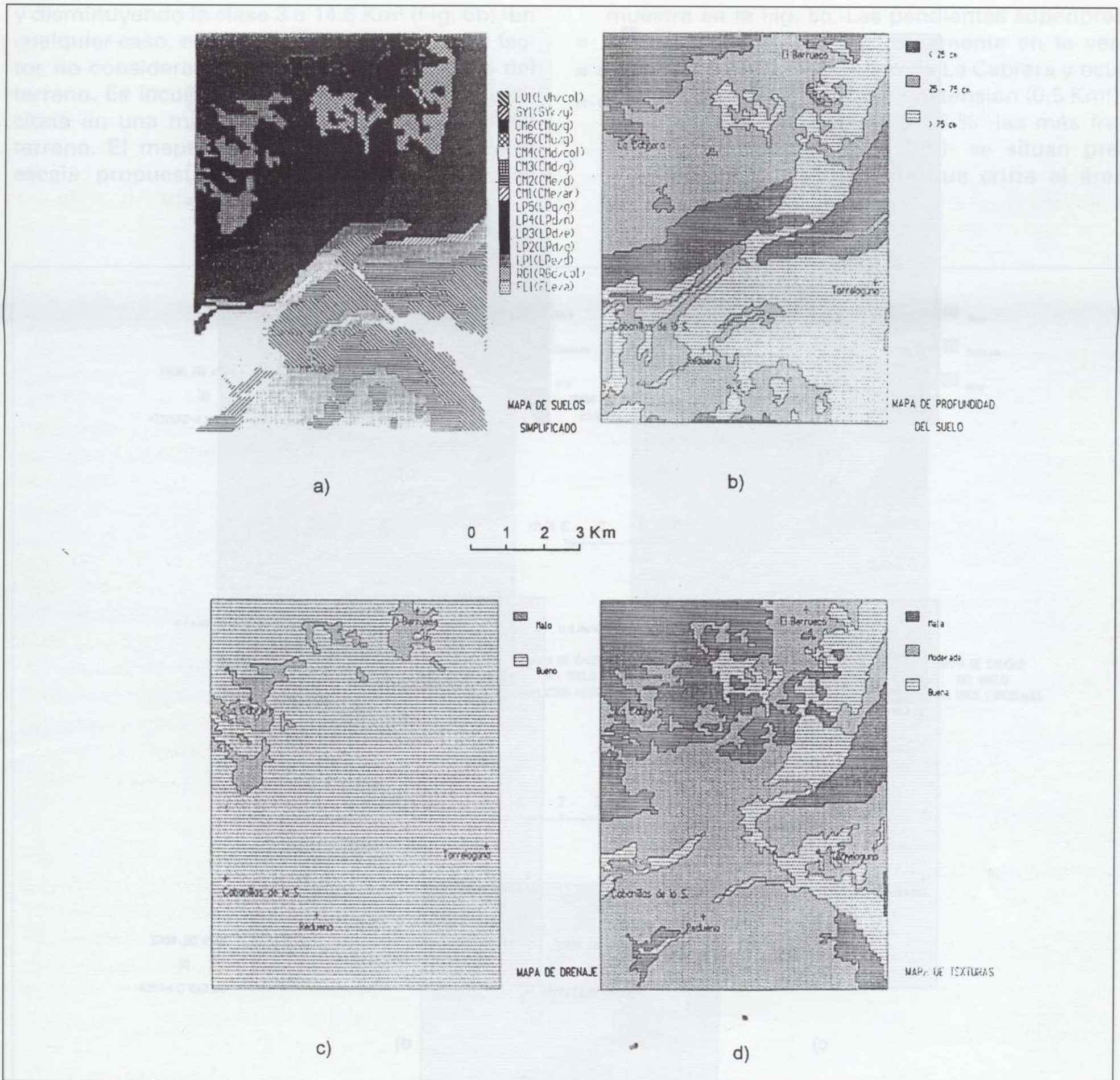


Figura 3

con valores entre 10 y 50 y la 1 -baja- con valores iguales o inferiores a 10.

Finalmente, para calcular el mapa de calidad climática se ha considerado el **período vegetativo**, entendiendo como tal el número de meses durante los cuales la temperatura media excede a

5°C. En este caso, el área ha quedado incluida en la clase 2 -moderada- con valores entre 8 y 11 (Fig. 4c). Valores inferiores a 8 estarían incluidos en un período vegetativo corto (clase 3) y superiores a 11 en un período largo (clase 1).

El resultado de la superposición de estas tres



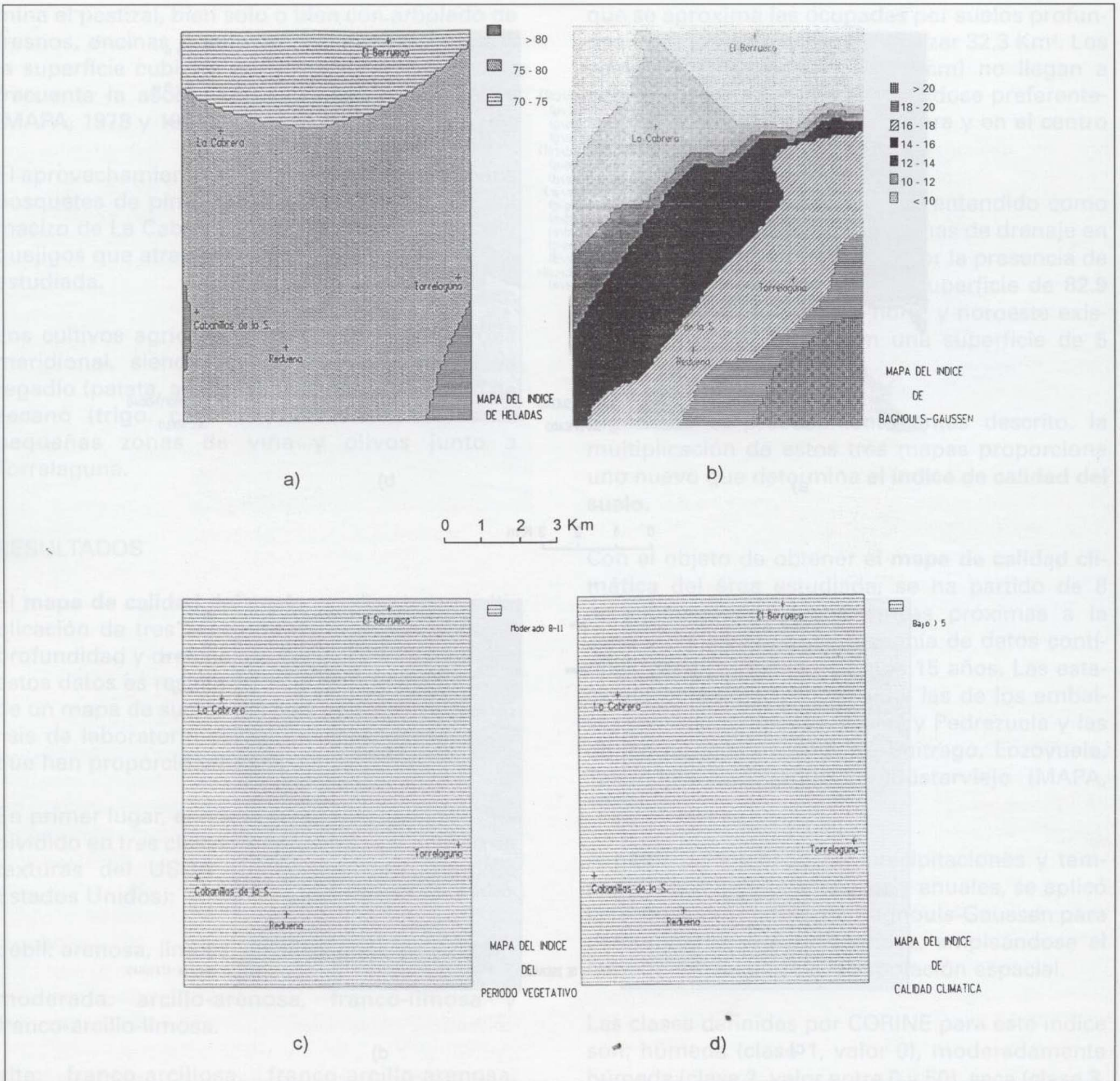


Figura 4

capas de información se traduce en el **mapa de calidad climática** que clasifica a la zona con un índice bajo (Fig. 4d).

En el mapa de calidad del suelo se ha efectuado una diferenciación dependiendo del tipo de uso propuesto *a priori*. Así, para usos agrícolas (Fig. 5a), dadas las exigencias que se requieren, inclui-

rimos en la clase 1 -alta calidad-, con un rango de valores inferiores a 2.5, una superficie de 30.8 Km<sup>2</sup>. La clase 2 -moderada-, con valores entre 2.5 y 5.5, supondría 20 Km<sup>2</sup> y la clase 3 -baja-, con un valor superior a 5.5, está representada por una superficie de 37.1 Km<sup>2</sup>. Si consideramos el uso forestal, las clases 2 y 3 varían en superficie, aumentando la de la clase moderada a 42.5 Km<sup>2</sup>



y disminuyendo la clase 3 a 14.6 Km<sup>2</sup> (Fig. 5b). En cualquier caso, es necesario incluir un nuevo factor no considerado hasta aquí: la pendiente del terreno. Es incuestionable que este factor condiciona en una medida importante la calidad del terreno. El mapa de pendientes, adaptado a la escala propuesta por el modelo CORINE, se

muestra en la Fig. 5c. Las pendientes superiores al 30 % se localizan exclusivamente en la vertiente meridional del macizo de La Cabrera y ocupan una superficie de escasa extensión (0.5 Km<sup>2</sup>). Las comprendidas entre 5 y 15 % -las más frecuentes en la zona (42.7 Km<sup>2</sup>)- se sitúan preferentemente en una banda que cruza el área

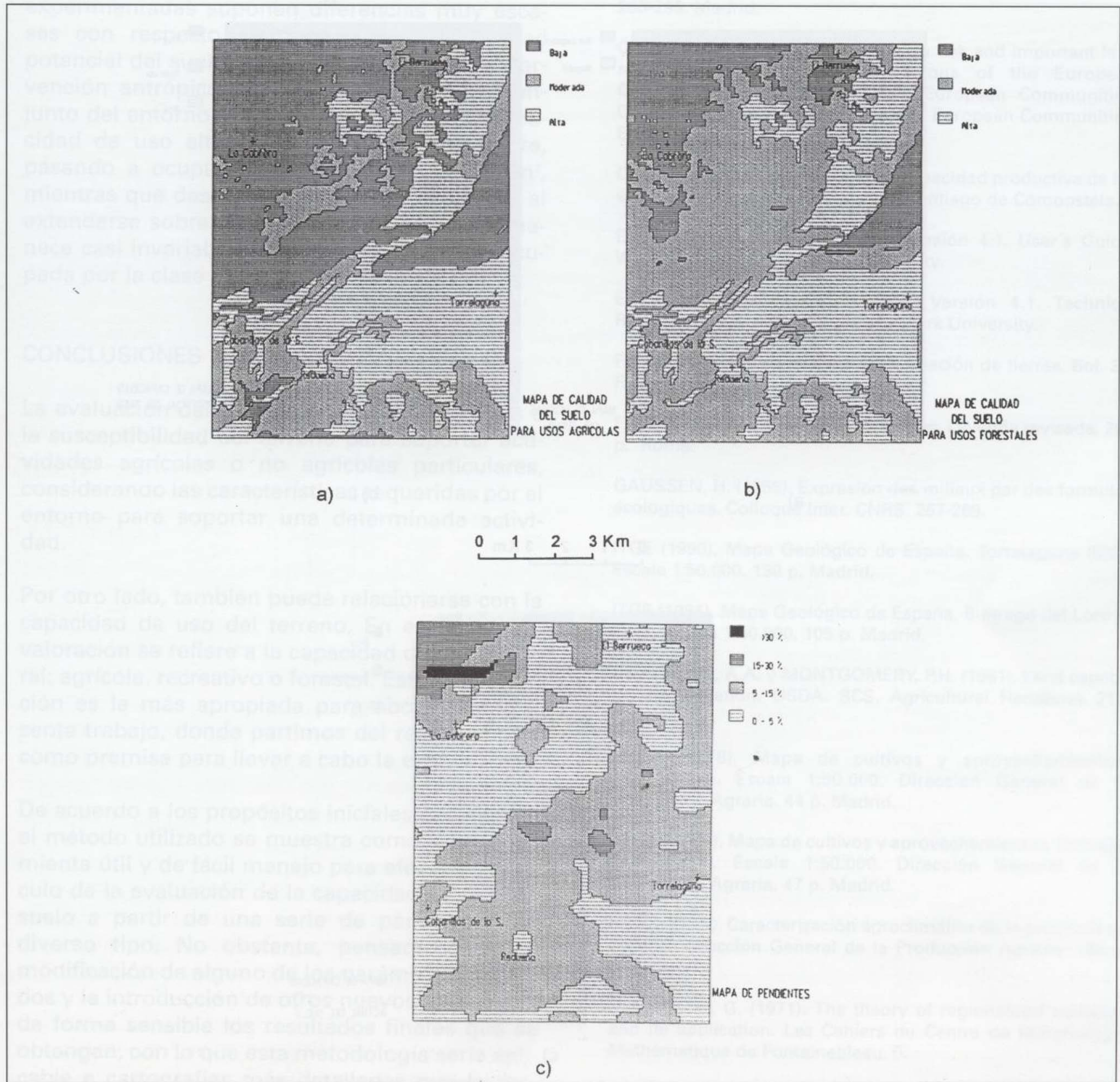


Figura 5



estudiada con dirección NE-SO. Las zonas de pendiente suave, inferior al 5 % son también muy frecuentes (40.5 Km<sup>2</sup>) en especial sobre el valle situado al sur de Torrelaguna y en los pastizales sobre granito del norte y centro del área.

La multiplicación del **mapa del índice de calidad climática (ICC)** por el **mapa del índice de calidad**

**del suelo (ICS)** y por el **mapa de pendientes (Pd)** nos proporciona el **mapa de capacidad potencial del suelo (ICP)** en el que apreciamos que la superficie ocupada (Fig. 6b) por la clase 1 pasa a 11.9 Km<sup>2</sup>, la clase 2 abarca 47.3 Km<sup>2</sup> y la clase 3 representa una superficie de 28.6 Km<sup>2</sup>.

$$ICP = ICC \times ICS \times Pd$$

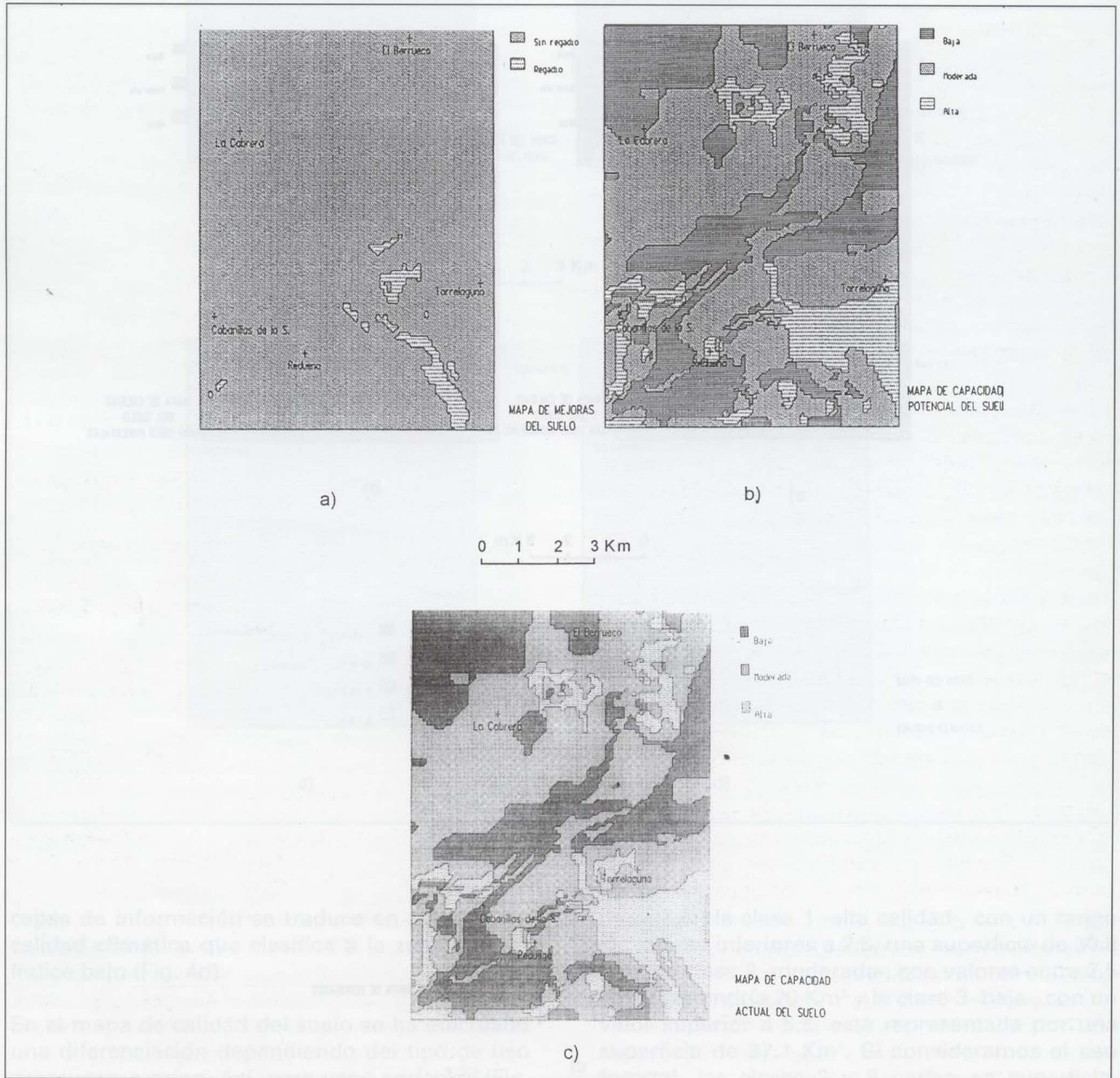


Figura 6

estudiada con dirección NE-SO. Las zonas de pendiente suave, inferior al 5 % son también muy frecuentes (40.5 Km<sup>2</sup>) en especial sobre el valle situado al sur de Torrelaguna y en los pastizales sobre granito del norte y centro del área.

La multiplicación del **mapa del índice de calidad climática (ICC)** por el **mapa del índice de calidad**

**del suelo (ICS)** y por el **mapa de pendientes (Pd)** nos proporciona el **mapa de capacidad potencial del suelo (ICP)** en el que apreciamos que la superficie ocupada (Fig. 6b) por la clase 1 pasa a 11.9 Km<sup>2</sup>, la clase 2 abarca 47.3 Km<sup>2</sup> y la clase 3 representa una superficie de 28.6 Km<sup>2</sup>.

$$ICP = ICC \times ICS \times Pd$$

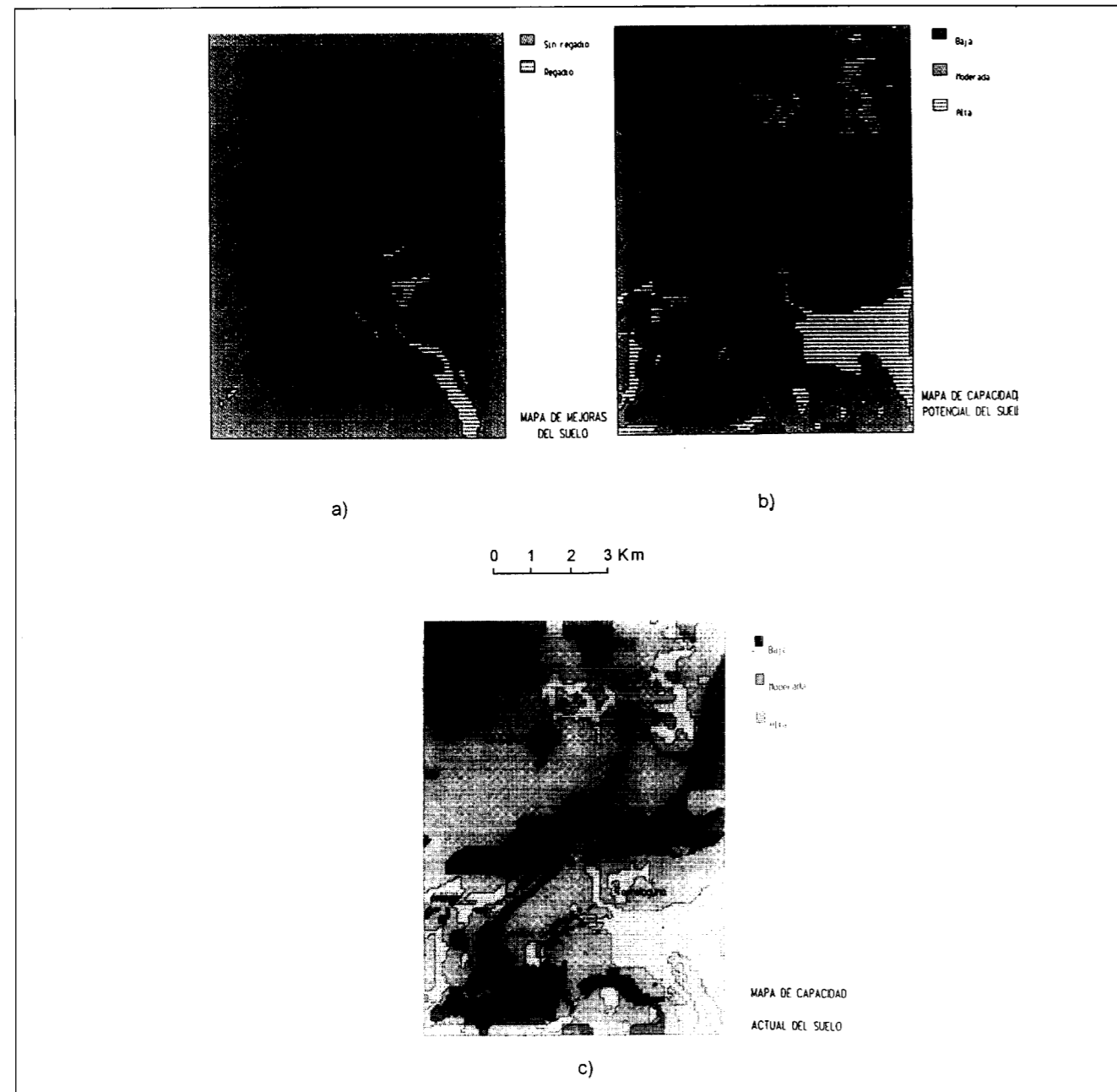


Figura 6

Si a todos estos factores físicos (suelo, clima, topografía) que determinan la capacidad de uso del terreno, añadimos la actividad humana -presencia de regadíos (R)- como elemento modificador (Fig. 6a) obtenemos el **mapa de capacidad actual del suelo (ICA)**.

$$ICA = ICC \times ICS \times Pd \times R$$

En este caso, observamos que las modificaciones experimentadas suponen diferencias muy escasas con respecto al mapa previo de capacidad potencial del suelo, a consecuencia de una intervención antrópica poco significativa en el conjunto del entorno estudiado. La clase 1, de capacidad de uso alta, se incrementa ligeramente, pasando a ocupar una superficie de 13.3 Km<sup>2</sup>, mientras que desciende la de clase moderada al extenderse sobre 46.4 Km<sup>2</sup>, a la vez que permanece casi invariable la superficie (28.3 Km<sup>2</sup>) ocupada por la clase baja (Fig. 6c).

## CONCLUSIONES

La evaluación del suelo permite aproximarnos a la susceptibilidad del terreno para soportar actividades agrícolas o no agrícolas particulares, considerando las características requeridas por el entorno para soportar una determinada actividad.

Por otro lado, también puede relacionarse con la capacidad de uso del terreno. En este caso, la valoración se refiere a la capacidad de uso general: agrícola, recreativo o forestal. Esta aproximación es la más apropiada para abordar el presente trabajo, donde partimos del recurso suelo como premisa para llevar a cabo la evaluación.

De acuerdo a los propósitos iniciales del trabajo, el método utilizado se muestra como una herramienta útil y de fácil manejo para efectuar el cálculo de la evaluación de la capacidad de uso del suelo a partir de una serie de parámetros de diverso tipo. No obstante, pensamos que la modificación de alguno de los parámetros utilizados y la introducción de otros nuevos mejorarían de forma sensible los resultados finales que se obtengan, con lo que esta metodología sería aplicable a cartografías más detalladas que la prevista en un principio por el programa CORINE.

## REFERENCIAS

AGUILAR RUIZ, J. y ORTIZ SILLA, R. (1992). Metodología de la capacidad de uso agrícola de los suelos. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, 281-286. Pamplona.

ALCALA DEL OLMO BOBADILLA, L. y OLMOS PALOMERO, T. (1995). Erosión del suelo: Evaluación de la situación actual y de su evolución ante un posible cambio climático en el sector Torrelaguna-La Cabrera (Madrid). En Reconstrucción de paleoambientes y cambios climáticos durante el Cuaternario, T. Aleixandre y A. Pérez-Gonzalez, ed. C.S.I.C., 283-295. Madrid.

CORINE (1992). CORINE soil erosion risk and important land resources in the southern regions of the European Community. Commission of the European Communities. Office for Official Publications of the European Communities. EUR 13233. 97 p. Luxemburgo.

DIAZ-FIERROS, F. y GIL, F. (1984). Capacidad productiva de los suelos de Galicia. Universidad de Santiago de Compostela.

EASTMAN, J.R. (1992a). IDRISI. Versión 4.1. User's Guide. Worcester, Ma. 178 p. Clark University.

EASTMAN, J.R. (1992b). IDRISI. Versión 4.1. Technical Reference. Worcester, Ma. 213 p. Clark University.

F.A.O. (1976). Esquema para la evaluación de tierras. Bol. 32. FAO. Roma.

F.A.O. (1989). Mapa mundial de suelos. Leyenda revisada. 202 p. Roma.

GAUSSEN, H. (1955). Expression des milieux par des formules écologiques. Colloque Inter. CNRS. 257-269.

ITGE (1990). Mapa Geológico de España. Torrelaguna (509). Escala 1:50.000. 130 p. Madrid.

ITGE (1991). Mapa Geológico de España. Buitrago del Lozoya (484). Escala 1:50.000. 105 p. Madrid.

KLINGEBIEL, A.A. y MONTGOMERY, P.H. (1961). Land capability classification. USDA. SCS. Agricultural Handbook 210. Washington.

MAPA (1978). Mapa de cultivos y aprovechamientos. Torrelaguna. Escala 1:50.000. Dirección General de la Producción Agraria. 44 p. Madrid.

MAPA (1981). Mapa de cultivos y aprovechamientos. Buitrago del Lozoya. Escala 1:50.000. Dirección General de la Producción Agraria. 47 p. Madrid.

MAPA (1989). Caracterización agroclimática de la provincia de Madrid. Dirección General de la Producción Agraria. 169 p. Madrid.

MATHERON, G. (1971). The theory of regionalized variables and its application. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, 5.

MCRAE, S.G. y BURNHAM, C.P. (1981). Land evaluation. Clarendon Press. Oxford.



MONTURIOL, F. y ALCALA DEL OLMO, L. (1990). Mapa de Capacidad potencial de uso agrícola de la Comunidad de Madrid. Consejería de Agricultura y Cooperación de la Comunidad de Madrid y C.S.I.C. Madrid.

SANCHEZ, J. y AÑO, C. (1993). Metodología de capacidad de uso para la planificación de usos del suelo en el ámbito mediterráneo. XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 1391-1398. Salamanca.

SANCHEZ, J., RUBIO, J.L., MARTINEZ, V. y ANTOLIN, C. (1984). Metodología de capacidad de uso de suelos para la cuenca mediterránea. Actas I Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, 837-848. Madrid.

SIERRA, C., ROCA, A. y QUIRANTES, J. (1992). Capacidad de uso agrícola, forestal y de protección de tierras del litoral andaluz: Cuenca de Lujar-Gualchos. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, 293-298. Pamplona.

Original recibido: Septiembre 1997.  
Original aceptado: Diciembre 1997.

## CARACTERIZACION DE LA CONTAMINACION PRODUCIDA POR ACTIVIDADES MINERAS EN LOS SUELOS DE LA CUENCA BAJA DEL RIO ALMANZORA.

Por A. NAVARRO FLORES (\*), D. COLLADO FERNANDEZ (\*\*)  
y J. A. SANCHEZ GARRIDO (\*\*)

### R E S U M E N

La intensa actividad minera desarrollada en el sector de Sierra Almagrera - Las Herrerías durante el período 1839-1991, ha generado un importante volumen de residuos, entre los que destacan fangos de flotación, escoria de fundición, y diversas escombreras que han contaminado los suelos y sedimentos del Valle Bajo y Delta del río Almanzora.

El muestreo de suelos y sedimentos ha demostrado la existencia de una importante contaminación por Ag, As, Ba, Sb, Zn y Pb, que afecta a la zona más superficial de los suelos próximos a los focos de contaminación, a los sedimentos fluviales y a los sedimentos marinos someros.

La movilización inicial de los contaminantes parece controlada por la acción del viento y la escorrentía superficial, produciéndose además una intensa atenuación en la zona no saturada del acuífero del Delta del río Almanzora.

Las posibles medidas de remediación deberían centrarse en la inmovilización de los depósitos de fangos de flotación y los producidos por otros métodos de concentración, así como en la creación de barreras impermeables y/o reactivas que impidan el transporte de los contaminantes por el efecto de la escorrentía superficial o la infiltración.

*Palabras clave:* Suelo contaminado, Fangos de flotación, Escorias, Metales pesados.

### A B S T R A C T

The Sierra Almagrera-Las Herrerías mining district had an important activity during 1839-1991 period, generating a very great volume of wastes, as mine tailings and smeltings slags that are contaminated the soil and sediments of Valle Bajo and Delta of Almanzora river.

Soil and sediment sampling showed the presence of a important contamination by Ag, As, Ba, Sb, Zn and Pb located at the top of soil near the contamination focus, and the fluvial sediments and superficial marine ones.

The contaminants mobilization is controlled by the wind and runoff action; also we detect a strong sorption process in the "non saturated" zone of the Delta aquifer.

Several remediation measures can be considered: inmovilization and estabilization of mine tailings, installation of impermeable and/or reactive walls in the path of fluids leaving from the dumps, by runoff or infiltration.

*Key words:* Contaminated soil, Mine tailings, Smelting slag, Heavy metals.

### 1.- INTRODUCCION. DATOS HISTORICOS

En este trabajo se ha estudiado, en una primera aproximación, la contaminación producida por

residuos mineros (fundamentalmente fangos de flotación), en los suelos y sedimentos fluviales del Delta del río Almanzora, y originados por las actividades mineras del antiguo distrito de Sierra Almagrera - Las Herrerías (fig.1).

(\*) Dpto. Mecánica de Fluidos (UPC). Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. C/. Colón 11, 08222 Terrassa.

(\*\*) Dpto. Edafología y Química Agrícola. Universidad de Almería. La Cañada de S. Urbano (Almería).

La actividad minera en esta región, centrada en la explotación de mineralizaciones hidrotermales de carácter filoniano en Sierra Almagrera, y

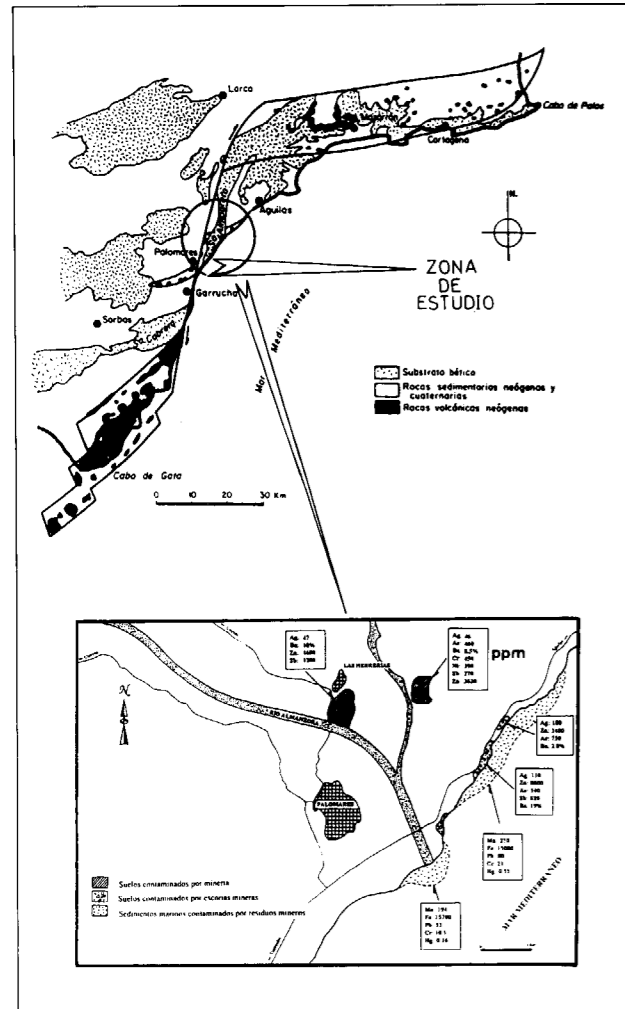


Figura 1: Mapa de situación y de detalle. Tomado de Martín Escorza y López Ruiz (1980). Se señalan valores geoquímicos significativos: en sedimentos marinos y costeros.

estratoligadas en las Herrerías, ha sido muy dilatada a lo largo de la historia, encontrándose entre las más antiguas de la Península Ibérica (NAVARRO et al., 1994; SIRET, 1907; CUADRADO, 1947).

Así, en Sierra Almagrera se explotaron filones de carácter hidrotermal (MARTINEZ FRIAS et al., 1989; MARTINEZ FRIAS, 1991) constituidos fundamentalmente por galena argentífera, sulfosales de Pb-Sb-Ag, pirita, calcopirita, marcasita, esfalerita, siderita y baritina. También se beneficiaron de forma puntual y en periodos históricos desconocidos actualmente, mineralizaciones de Au-As, ubicadas en la zona costera de la Sierra (NAVARRO et al., 1994; NAVARRO et al., 1997).

En las Herrerías la explotación se centró en los óxidos de Fe y Mn y plata nativa, habiéndose reiniciado recientemente la actividad minera (1992), esta vez a cielo abierto, y para beneficiar las capas de baritina que existen en ese conocido yacimiento hidrotermal (MARTINEZ FRIAS et al., 1989, 1992; LOPEZ GUTIERREZ et al., 1993).

La contaminación detectada en los suelos y sedimentos fluviales, también ha sido encontrada en sedimentos marinos someros (GUERRERO et al., 1989), y su origen debe atribuirse, además de a la alteración de los estériles generados, a los siguientes tipos de residuos:

- Fangos de flotación de El Arteal (originados en el periodo 1945-1991).
- Escorias de fundición diseminadas en 20 emplazamientos.
- Residuos de concentración en Las Herrerías.

Los fangos de flotación existentes en la zona de El Arteal (fig. 2), estimados en varios millones de tm, se han originado como resultado de las labores mineras más recientes desarrolladas en Sierra Almagrera. Sobre el terreno aparecen dispuestos en forma de grandes terrazas escalonadas, desprovistas de vegetación y continuamente sometidas a la acción del viento y de la escorrentía superficial (foto nº 1).

El origen de los primeros depósitos de fangos de flotación está en la creación de la empresa Minas de Almagrera S.A. en 1945, que retomó la explotación de las minas tras la Guerra Civil, emprendiendo una serie de importantes labores entre las que destacó la construcción de una galería general de transporte (socavón Santa Bárbara) de 4123 m de longitud, finalizada en 1951 (INI, 1952). Durante este periodo, en el que desde planteamientos demasiado optimistas se pensó llevar la explotación hasta los 400 m por debajo del nivel del mar, se construyó un lavadero de flotación con una capacidad media de 800 tm/día, previéndose una producción anual (nunca cumplida) de 12000 tm de concentrados (foto nº 2).

Aunque se desconoce la producción real de concentrados y fangos de este periodo, los datos disponibles (tabla 1) indican una baja productividad, y por tanto un volumen de fangos generado que

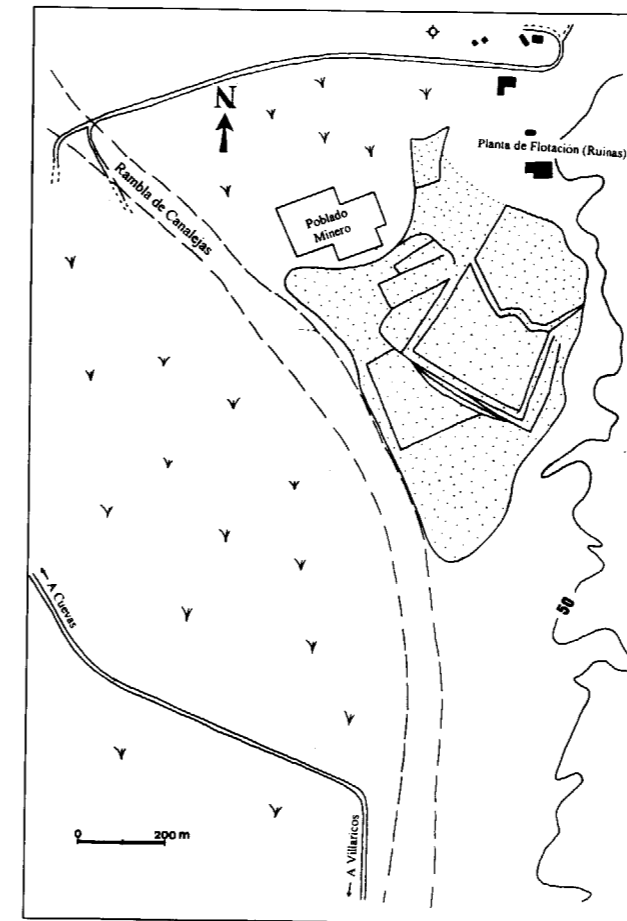


Figura 2: Mapa de detalle de los fangos de El Arteal.

debe ser un pequeño porcentaje del que actualmente existe.

Esta actividad minera se paraliza en 1958, aunque las labores subterráneas ya se habían dado por finalizadas en el año anterior.

Posteriormente, y a partir de 1967, distintas empresas privadas reanudan el lavado de escobrerías con leyes suficientes en Pb y Ag, llegando a funcionar una planta de flotación con dos líneas de concentración: sulfuro de plomo y piritas, hasta 1991, cuando finaliza la explotación de las minas de Sierra Almagrera.

Los datos de producción de este último periodo se desconocen, no obstante si se tienen en cuenta los datos de Minas de Almagrera S.A., y el análisis de las fotos aéreas desde 1957 hasta la actualidad, parece probable que el 90% de los

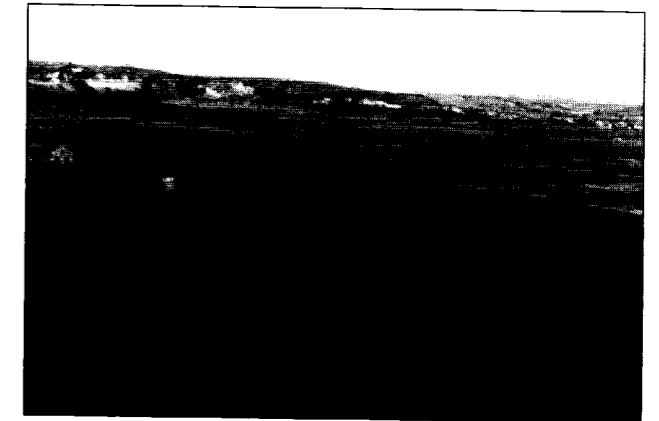


Foto 1: Fangos de Sierra Almagrera. Vista de las terrazas.

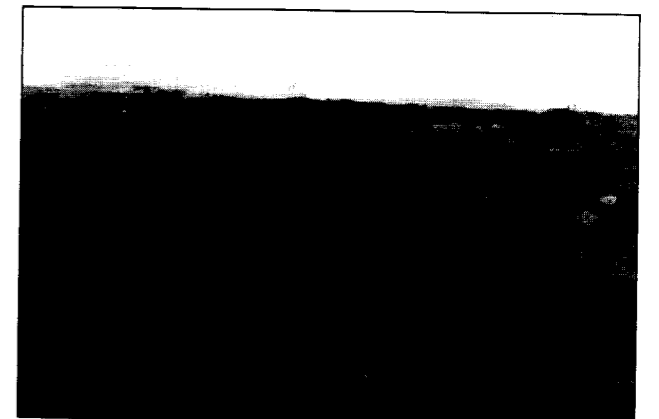


Foto 2: Depósitos de la concentración mineral en El Arteal.

TABLA 1: Producción minera de Minas de Almagrera S.A. durante el periodo 1952-1956.

AÑO	ESCOBRERAS PROCESADAS (tm)	PRODUCCIÓN TOTAL DE CONCENTRADO (tm)	% Pb	% Ag
1952	64261	S. D.	S. D.	S. D.
1953	S. D.	2977,5	46,87	2,01
1954	133395	3710,1	55,33	2,31
1955	S. D.	3600	S. D.	S. D.
1956	S. D.	2169	S. D.	S. D.

S.D.: Sin datos

fangos actuales procedan de la actividad del periodo 1967-1991.

Los residuos de fundición que se observan en los alrededores de los antiguos establecimientos (fig. 3), proceden mayoritariamente de la gran actividad desarrollada durante el siglo XIX, y principios del siglo XX en 17 fábricas, que unidas a las existentes en las proximidades de Aguilas, bene-



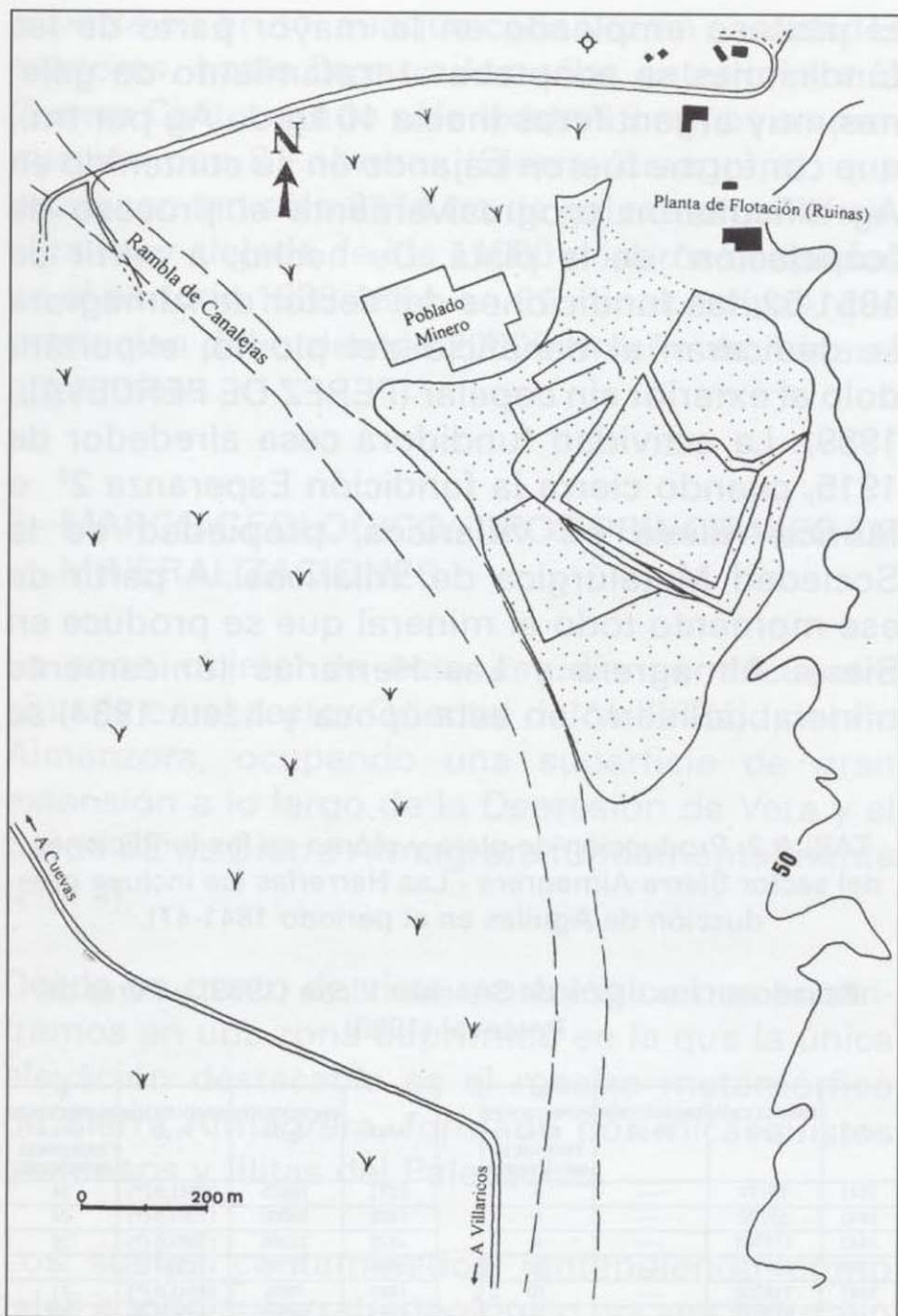


Figura 2: Mapa de detalle de los fangos de El Arteal.

debe ser un pequeño porcentaje del que actualmente existe.

Esta actividad minera se paraliza en 1958, aunque las labores subterráneas ya se habían dado por finalizadas en el año anterior.

Posteriormente, y a partir de 1967, distintas empresas privadas reanudan el lavado de escombreras con leyes suficientes en Pb y Ag, llegando a funcionar una planta de flotación con dos líneas de concentración: sulfuro de plomo y piritas, hasta 1991, cuando finaliza la explotación de las minas de Sierra Almagrera.

Los datos de producción de este último período se desconocen, no obstante si se tienen en cuenta los datos de Minas de Almagrera S.A., y el análisis de las fotos aéreas desde 1957 hasta la actualidad, parece probable que el 90% de los



Foto 1: Fangos de Sierra Almagrera. Vista de las terrazas.



Foto 2: Depósitos de la concentración mineral en El Arteal.

TABLA 1: Producción minera de Minas de Almagrera S.A. durante el período 1952-1956.

AÑO	ESCOMBRERAS PROCESADAS (tm)	PRODUCCIÓN TOTAL DE CONCENTRADO (tm)	% Pb	% Ag
1952	64261	S. D.	S. D.	S. D.
1953	S. D.	2977,5	46,87	2,01
1954	133395	3710,1	55,33	2,31
1955	S. D.	3600	S. D.	S. D.
1956	S. D.	2169	S. D.	S. D.

S.D.: Sin datos

fangos actuales procedan de la actividad del período 1967-1991.

Los residuos de fundición que se observan en los alrededores de los antiguos establecimientos (fig. 3), proceden mayoritariamente de la gran actividad desarrollada durante el siglo XIX, y principios del siglo XX en 17 fábricas, que unidas a las existentes en las proximidades de Aguilas, bene-



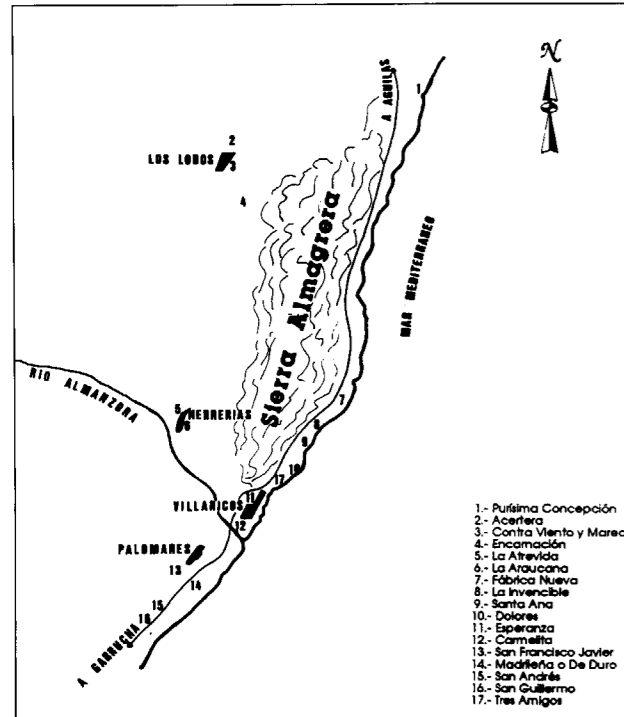


Figura 3: Mapa de situación de las antiguas fundiciones.

ficiaron durante muchos años las menas extraídas de Sierra Almagrera y Las Herrerías.

Aunque la mayor parte de los escoriales son modernos, la actividad de beneficio se desarrolló ampliamente en la antigüedad, habiéndose localizado grandes depósitos de escorias en Las Herrerías y en el Bco. Francés (Sierra Almagrera), cuando se reemprende la actividad minera del sector en 1839, como consecuencia del descubrimiento del filón del Jaroso (TAPIA, 1987; EZQUERRA DEL BAYO, 1844).

La producción de residuos del conjunto de fundiciones tampoco se conoce con precisión, aunque es posible realizar una cierta estimación a partir de los datos existentes de producción de plata y plomo de los establecimientos de esta región (tabla nº 2).

Los datos de la tabla nº 2 nos darían, utilizando valores medios para los años sin datos, una posible producción de Pb para el período 1850-1912 de aproximadamente 553018 tm, que equivaldrían a una producción de escorias del orden de 800000 - 1000000 tm, aproximadamente.

El proceso empleado en la mayor parte de las fundiciones se adaptaba al tratamiento de galenas muy argentíferas (hasta 10 kg de Ag por tm), que conforme fueron bajando en su contenido en Ag dificultaron progresivamente el proceso de "copelación" de la plata. De hecho, a partir de 1851-52, las fundiciones del sector de Almagrera se dedicarán al beneficio del plomo, exportándolo al exterior sin copelar (PEREZ DE PERCEVAL, 1989). La actividad fundidora cesa alrededor de 1915, cuando cierra la fundición Esperanza 2ª o fábrica nueva en Villaricos, propiedad de la Sociedad Metalúrgica de Villaricos. A partir de ese momento todo el mineral que se produce en Sierra Almagrera y Las Herrerías (únicamente mineral de hierro en esta época y hasta 1934) se

TABLA 2: Producción de plata y plomo en las fundiciones del sector Sierra Almagrera - Las Herrerías (se incluye producción de Aguilas en el período 1841-47).

Basado en los datos de Sánchez Picón (1983) y Pérez de Perceval (1989).

AÑO	PRODUCCIÓN Ag (1)	PRODUCCIÓN Pb (2)	Nº FUNDICIONES EN LA PROVINCIA DE ALMERÍA
1841	10179	---	4
1842	55170	---	9
1843	113765	---	9
1844	127772	---	12
1845	116328	---	10
1846	115872	---	7
1847	83104	---	9
1848	68030	---	4 (**)
1849	---	---	---
1850	37696	1627,5	7
1851	42319	1810,0	---
1852	38710	---	---
1853	30317	2431,7	6
1854	16277	---	---
1855	---	3502,9	---
1856	8378	1747,0	---
1857	---	---	---
1858	---	---	---
1859	---	---	---
1860	---	---	---
1861	---	1435,7	20
1862	---	2265,0	21
1863	---	2914,0	26
1864	---	2281,0	26
1865	---	2469,0	18
1866	---	1785,0	---
1867	---	4161,0	24
1868	---	4380,0	24
1869	---	8020,0 (*)	23
1870	---	9510,0 (*)	23
1871	12380	8123,0 (*)	23
1872	5880	12078,0 (*)	23
1873	50000	11223,0 (*)	26
1874	32605	16805,0	27
1875	35831	17963,3	28
1876	34485	19924,3	28

(1): Producción en marcos de plata hasta 1856, producción en tm de mineral argentífero para el período 1871-1886.  
 (2): Producción en tm. Los datos con (\*) corresponden al Pb exportado en la aduana de Garrucha.  
 (3): N.º Total de Fundiciones activas en la provincia de Almería. (\*\*): sólo Almagrera  
 ---: Sin datos.

exporta en bruto, aunque cada vez en cantidades menores, hasta llegar a los años anteriores a la Guerra Civil, cuando sólo existen 8 minas en producción con 81 obreros (Sierra Almagrera), que producen tan sólo 2114 tm de galena argentífera, cifra muy alejada de los 11000 mineros ocupados en el período 1839-1844, en 61 minas activas, que producían del orden de 20000 tm/año de mineral argentífero.

2.- MARCO GEOLOGICO. TIPOS PRINCIPALES DE MINERALIZACIONES

La zona objeto de este estudio se encuentra situada en el sector Oriental del Valle Bajo del río Almanzora, ocupando una superficie de gran extensión a lo largo de la Depresión de Vera y el borde SE de Sierra Almagrera fundamentalmente (Fig. 4).

Desde un punto de vista morfológico nos encontramos en una zona deprimida en la que la única elevación destacable es el macizo metamórfico de Sierra Almagrera, formado por micasquitos grafitosos y filitas del Paleozoico.

Los suelos contaminados (entendiendo como tales a todo substrato geológico, ya sea natural o de origen antrópico, afectado por la contaminación) de la zona de Las Herrerías y El Arteal se desarrollan sobre los materiales aluviales y deltaicos que constituyen el acuífero del Valle Bajo y Delta del río Almanzora, y que limitan al Este con el macizo metamórfico de Sierra Almagrera. Los suelos contaminados por escorias ocupan amplias extensiones del Delta del río, así como parte de la pequeña plataforma que existe en todo el borde costero de la Sierra.

Estos materiales están limitados por la gran fractura de El Arteal, que los separa de los depósitos Terciarios (margas y margocalizas principalmente) de la cuenca de Las Herrerías, que a su vez fosilizan a una banda de fallas de dirección NE-SO que se denominan fallas de Palomares. Son precisamente estos sistemas de fracturación los que controlaron la distribución no sólo de los afloramientos volcánicos de la región sino también el hidrotermalismo que dio lugar a los distintos tipos de yacimientos minerales presentes en la zona. Discordantemente sobre todos los

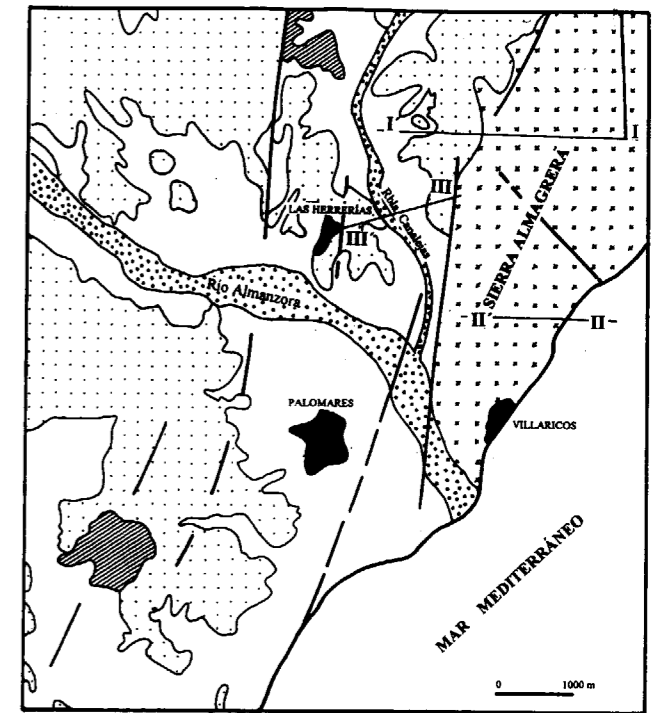


Figura 4: Esquema geológico general y situación de los perfiles realizados.

materiales anteriores se disponen los depósitos cuaternarios que constituyen el acuífero aluvial y deltaico. Estos se encuentran formando amplias terrazas y están constituidos litológicamente por arenas, gravas, limos y arcillas. No se tienen muchos datos fiables relativos a la geometría del aluvial en la zona del delta, aunque en las cercanías de Cuevas del Almanzora el espesor medio del acuífero proporcionado por sondeos de reconocimiento y el inventario de pozos realizado, puede estimarse en unos 35-40 m, con un espesor saturado en torno a los 7 m (COLLADO et al. 1996).

El acuífero deltaico está cerrado lateralmente por los depósitos terciarios de la depresión de Las Herrerías, excepto en el sector E, donde este cie-



re lo constituye el macizo metamórfico de Sierra Almagrera.

Desde el punto de vista hidrogeológico el Delta y Valle Bajo del Almanzora pueden definirse como un acuífero libre que, con anterioridad a la construcción del embalse de Cuevas del Almanzora, recibía los aportes subterráneos del aluvial del río, así como la posible recarga de las avenidas. Tras la construcción de la barrera impermeable del embalse, se produce la desconexión hidráulica casi total del aluvial con el río, por lo que las principales entradas al mismo proceden en la actualidad de la infiltración de la precipitación, retorno de riegos, pérdidas por filtraciones en la presa de Cuevas y principalmente por el aporte de pequeños acuíferos colaterales (Rbla. de Canalejas, Cirera, etc.). A estas entradas hemos de sumar la recarga inducida por los vertidos de aguas residuales de la depuradora de Cuevas del Almanzora, y el vertido de la salmuera procedente de una planta de ósmosis inversa ubicada en las cercanías de la presa de Cuevas del Almanzora.

Las principales salidas del sistema se realizan por descarga directa al mar y por bombeos para regadío, si bien estos últimos han disminuido mucho desde la puesta en marcha de la presa de Cuevas del Almanzora.

Las características de las mineralizaciones explotadas en este sector han sido estudiadas durante los últimos años en distintos trabajos (MARTINEZ FRIAS et al., 1989; MARTINEZ FRIAS, 1991; NAVARRO et al., 1994a; NAVARRO et al., 1997), pudiéndose distinguir a grandes rasgos dos áreas diferenciadas:

A) Mineralizaciones estratoligadas de Las Herrías.

B) Mineralizaciones filonianas de Sierra Almagrera.

Ambos tipos de yacimientos pertenecen al conjunto mineralizado del gran arco metalogénico Cabo de Gata-Cartagena, los cuales están espacial y genéticamente vinculados al vulcanismo neógeno, y constituyen el área mineralizada más importante del SE Peninsular, junto con Mazarrón y la zona de la Sierra de Cartagena (tabla nº 3).

A grandes rasgos, se trata de yacimientos de Pb-Ag-Zn emplazados en materiales metamórficos y yacimientos de Fe-Mn-Ba (Ag) emplazados en Depresiones (fig. 5), cuya vinculación con la hidrodinámica de los sistemas hidrotermales también ha sido puesta de manifiesto (NAVARRO et al., 1994b).

Las mineralizaciones estratoligadas de Las Herrías, actualmente puestas de nuevo en explotación para la extracción de barita, se encuentran asociadas a los niveles sedimentarios del Tortoniense Superior, habiéndose encontrado también fumarolas fósiles (MARTINEZ FRIAS et al., 1992), que alargarían el proceso hidrotermal hasta el Messiniense. La mineralización está constituida fundamentalmente por óxidos de Fe y Mn, capas de barita, jaspes, plata nativa y algunos sulfuros de metales base en áreas localizadas (galena, esfalerita, pirita). La secuencia estratigráfica mineralizada es la siguiente (MARTINEZ FRIAS et al., 1992):

- Basamento metamórfico.
- Turbiditas mineralizadas con óxidos de Fe y Mn.
- Tortoniense mineralizado (capa negra) con óxidos de Fe, Mn y barita.
- Calizas mineralizadas con óxidos de Fe y Mn.
- Alternancias de capas de barita y jaspes negros.
- Depósitos de exhalitas (depósitos silíceos laminados).
- Margas del Messiniense (con fumarolas fósiles).

Las mineralizaciones filonianas de Sierra Almagrera (fig. 6) se disponen en forma de filones bandeados de gran diámetro (hasta 8-12 m), vetas irregulares, rellenos de cavidades, fisuras y pequeñas grietas que en algún caso forman pequeñas ramificaciones de una cierta densidad, aunque sin llegar a los típicos "stockwork" desarrollados en rocas volcánicas.

En el conjunto filoniano puede observarse una cierta zonación regional (NAVARRO et al., 1994a), así como una cierta zonación vertical que para los dos tipos básicos de estructuras filonianas sería la siguiente (MARTINEZ FRIAS et al., 1991; NAVARRO et al., 1997):

TABLA 3: Principales características de los yacimientos hidrotermales del sector Almagrera-Mazarrón.

YACIMIENTO	TIPO	MINERALOGÍA FUNDAMENTAL	TAMAÑO (10 <sup>6</sup> tm)	CONTENIDOS MEDIOS	SITUACIÓN
Almagrera (Jaroso-Francés)	Vetiforme brechas h.	Galena, bournonita, esfalerita, calcopirita, pirita, siderita, cobres grises, baritina y cuarzo.	21,2 (50% explotado)	1-17% Pb 100-1200 ppm Ag 0,2% Zn	(Inactivo) (1838-1936; 1940-1956; 1967-1991)
Almagrera (Cala Cristal)	Vetiforme	Pirita, arsenopirita, esfalerita, galena, baritina, oro nativo.	S. D.	20 ppm a 482 ppb Au 1286 ppm As 613 ppm Ni	Inactivo (S. D.)
Valle del Azogue	Brecha hidrotermal	Cuarzo, baritina, estibina, cinabrio, esfalerita, siderita, yeso, calcita, calcopirita y pirita.	13,9	250 ppb Au 47 ppm Ag 0,8% Hg 0,6% Sb	Inactivo (1873-1888)
Jarabías- Los Jurados	Vetiforme Stockwork	Galena, calcopirita, marcasita, calcita, siderita, yeso, celestina y baritina.	7,2	0,2-13% Pb 0,3% Zn 28,2-82 ppm Ag	Inactivo (1872-1936; 1940-1968)
Azogue Norte (El Charcón)	Vetiforme brechas h.	Galena, pirita, esfalerita, marcasita, cuarzo y siderita.	9,2	1,2% Pb 35 ppm Ag 4,4% Zn 130 ppb Au	Inactivo (S. D.)
Cuesta de Gos (Lomo de Bas)	Vetiforme Stockwork	Casiterita, hematites, pirita, arsenopirita, marcasita, esfalerita, galena, oro nativo y plata nativa.	S. D.	1,01% Sn 300 ppb Au	Inactivo (1870-1961)
Morata	Vetiforme brechas h.	Óxidos de Fe-Mn, pirita, calcopirita, galena y esfalerita.	S. D.	40-50% Fe 0,8-6,2% Mn indicios de Au	Inactivo (1873-?)
Mazarrón (Perules-Pedreras Viejas)	Vetiforma Stockwork Brechas h.	Esfalerita, pirita, galena, calcopirita, calcita, siderita, baritina, dolomita, cuarzo y yeso.	18,0	2,3-12% Zn 0,1-10% Pb 20-200 ppm Ag	Inactivo (1850-1962)
Las Herrías	Estratoligado Vetiforme	Óxidos de Fe-Mn, baritina, jasperoides, siderita, plata nativa, galena y esfalerita.	3,5	21,3 ppm Ag 35,5% Ba 699 ppm Zn	Activo (1993) (1868-1934)

S. D.: Sin datos.

a) Filones de Pb-Ag (Fe, Ba)

- zona de oxidación (0-100 m): óxidos, sulfatos, carbonatos, cloruros.
- zona de sulfosales-sulfuros (100-300 m): bournonita, boulangerita, tetraedrita, galena, esfalerita, calcopirita, pirita, marcasita, barita, siderita y cuarzo.
- zona de sulfuros dominantes (> 300 m): galena, bournonita, calcopirita, pirita, marcasita, barita, siderita y esfalerita.

b) Filones de Au-As

- zona superior (0-30 m): óxidos, sulfatos, cuarzo aurífero, arsenopirita (Au).

- zona inferior (> 30 m): esfalerita, marcasita, galena y calcopirita.

Las anomalías geoquímicas y la zonación establecida aparecen en la figura 7a y 7b, en la que puede apreciarse la potencia de las zonas de oxidación, que no siempre fueron totalmente explotadas, habiéndose centrado las labores mineras en la extracción de sulfosales y sulfuros fundamentalmente.

El volumen total de material extraído no se conoce con precisión, sin embargo a partir de los datos de material fundido, y de las leyes medias

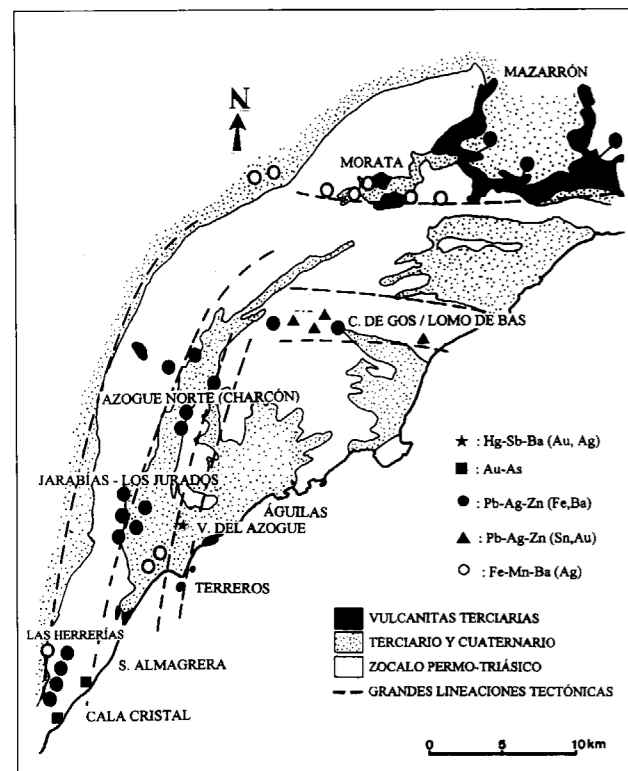


Figura 5: Situación de las mineralizaciones a escala regional.

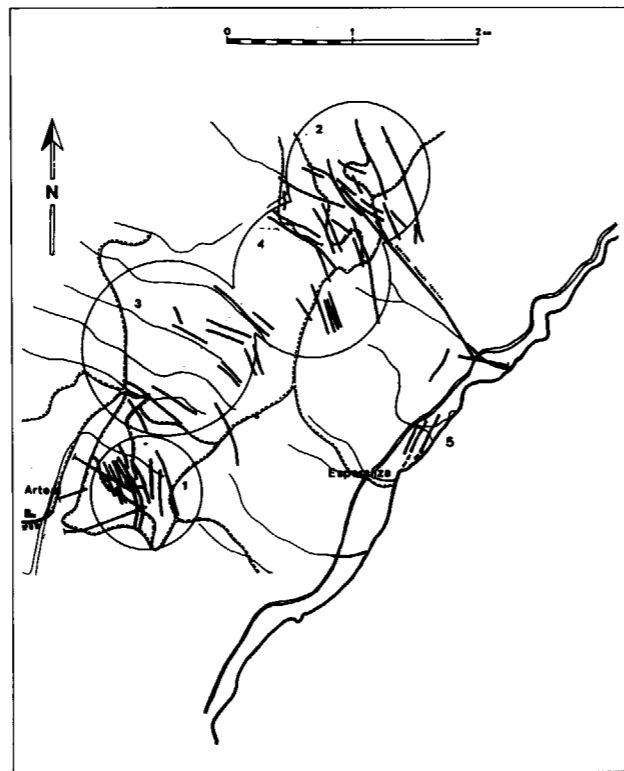


Figura 6: Filones de Sierra Almagrera.  
 1.- Ramo de Flores-El Arteal.  
 2.- Barranco del Jaroso.  
 3.- Barranco Francés.  
 4.- Minas de Fe y Ba.  
 5.- Minas de Cala Cristal.

del "todo uno" explotado durante la segunda mitad del siglo XIX, se podría estimar una extracción de minerales plumbo-argentíferos del orden de  $2,1 \cdot 10^6$  tm, durante el período 1850-1912 para todo este distrito. El promedio anual obtenido superaría las 30000 tm, valor superior al conocido, pero verosímil dadas las ocultaciones habituales (SOUVIRON, 1899) y las probable inclusión del plomo producido en el yacimiento de Bédar, en las estadísticas de producción y exportación de la aduana de Garrucha.

3.- MUESTREO Y ANALISIS DE LOS SUELOS CONTAMINADOS

Para caracterizar la contaminación por actividades mineras en esta zona se han llevado a cabo distintas campañas de muestreo durante el período 1993-1996 (fig. 1) en las zonas próximas a Sierra Almagrera, y que han sido las siguientes:

- 1) Muestreo de suelos contaminados en Las Herrerías.
- 2) Muestreo de suelos contaminados por actividades mineras e industriales en la zona costera (Villaricos-Cala Cristal).
- 3) Muestreo de suelos contaminados por fangos de flotación en la zona de El Arteal (Sierra Almagrera).

En las muestras recogidas mediante catas superficiales de hasta 30 cm de profundidad, se ha determinado de la fracción menor de 2 mm (fracción tierra fina), por ser ésta la más activa en el suelo, por Activación Neutrónica en Actlabs (Ontario, Canadá), el contenido en 35 sustancias: Au, Ag, As, Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, Ir, La, Lu, Mo, Na, Nd, Ni, Rb, Sb, Sc, Se, Sr, Sm, Sn, Ta, Th, Tb, U, W, e Yb. En muestras seleccionadas se ha determinado también: Cu, Pb, Zn, Mn, Sr, Ca, Mg y Cd por AAS.

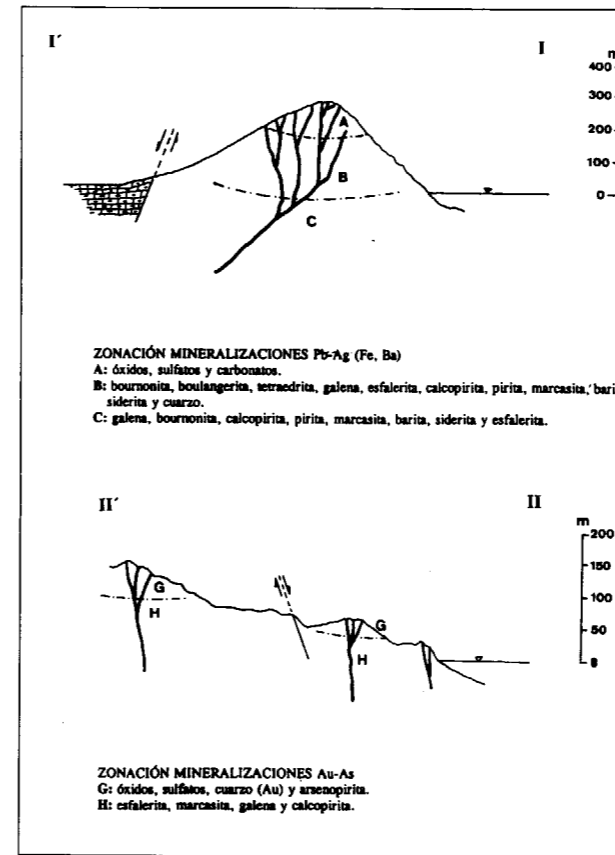


Figura 7

TABLA 4. Valores máximos detectados en los suelos de las Herrerías, y valores de intervención proporcionados por distintas legislaciones. Valores en ppm.

METAL	IC	IQ	IH	LAS HERRERÍAS	
				A	B
Ag	---	40	---	18,2	47
As	31	50	55	42,8	93
Ba	525	2000	625	38916	100000
Cd	3,5	20	12	---	---
Cr	150	800	380	49,8	98
Hg	10	10	10	<1	<1
Mo	88	40	200	<5	<5
Ni	250	500	310	<50	<53
Pb	300	600	530	---	---
Sb	---	---	---	511	1.200
Sn	---	300	---	24086	<60000
Zn	450	1500	720	743,4	1680

IC: Valor de intervención en la legislación catalana para suelos de uso no industrial (en proyecto).  
 IQ: Valor de intervención en la legislación de Quebec (Canadá).  
 IH: Valor de intervención en la legislación holandesa.  
 Las Herrerías: Valor medio (A) y valor máximo detectado (B) en los suelos contaminados.

plata, que supera el valor de intervención de la legislación de Quebec, en una de las muestras recogidas.

En el caso del Sn, los altos valores detectados deben ser tomados con precaución, dada la poca precisión del método analítico utilizado, en el caso de este metal.

**b) Zona costera:** Con el objeto de fundir el abundante mineral que se extraía de Sierra Almagrera y Las Herrerías, llegaron a funcionar en la zona hasta 17 fundiciones, la mayoría de ellas instaladas cerca de la línea de costa. Estos volúmenes de escorias presentan contenidos máximos en Ag de hasta 180 ppm, Zn (8600 ppm), As (540 ppm), Sb (620 ppm) y 19% en Ba.

**c) El Arteal:** Por último, el foco de contaminación más importante de la zona, tanto por el proceso industrial que lo generó, situación sobre el terreno y volumen, lo constituyen los fangos de flotación de El Arteal. Este lavadero que funcionó de forma casi ininterrumpida desde 1952 hasta 1957 y el tratamiento de antiguas escombreras desde 1967 hasta 1991 por empresas privadas, generaron un volumen de fangos que han que-

Tras los resultados analíticos se pueden destacar tres zonas contaminadas por residuos de actividades mineras diversas y en las que su situación sobre el terreno las convierte en focos potenciales de contaminación (fig. 1):

**a) Las Herrerías:** La contaminación del suelo en este sector tiene su origen principalmente en las escombreras mineras antiguas (no sólo en las generadas durante el s. XIX y XX, sino también las que tienen su origen en la explotación de las minas de plata por los romanos, y que según estimaciones de Ezquerro del Bayo (1844) ascendían a 276000 tm.) y en las actividades mineras actuales. Con todo ello se han determinado contenidos de Ag de hasta 47 ppm, Ba (10%), Zn (1680 ppm) y Sb (1200 ppm).

Los valores detectados superan ampliamente los valores de intervención de las legislaciones consultadas (tabla 4) para el caso del Ba, As, Zn y Sb (legislación de Ontario: 50 ppm), así como la de



dado depositados directamente sobre el aluvial de la rambla de Canalejas. El análisis de los fangos ha revelado contenidos en Ag de hasta 46 ppm, As (460 ppm), Ba (8.5%), Cr (450 ppm) Ni (390 ppm), Sb (270 ppm), Zn (2620 ppm) y en cuanto al Pb, los contenidos medios alcanzan un valor de 5428 ppm, presentándose concentraciones puntuales del 3%.

Los datos de la tabla nº 5 muestran como algunos valores máximos superan los límites de intervención de las legislaciones sobre suelos utilizadas (Ag, As, Ba, Cr, Cd, Sb, Zn y Pb), así como los valores medios de As, Ba, Sb, Zn y Pb superan los valores de intervención de la legislación catalana (en proyecto), canadiense (Quebec y Ontario) y holandesa de suelos contaminados. La elevada concentración de metales tóxicos como la Ag, Zn, Pb, As y de sustancias como el Ba, en áreas de intensa actividad agrícola, puede estar generando un problema de riesgo ambiental desconocido y de consecuencias imprevisibles.

Desde el punto de vista edafológico los suelos desarrollados en las proximidades del poblado minero de El Arteal se caracterizan y presentan (AGUILAR et al., 1988) dos orígenes claramente diferenciados.

Por un lado sobre los materiales del basamento paleozoico que constituyen Sierra Almagrera los encuadran dentro de las unidades 4 y 6 que se caracterizan por la presencia de Litosoles, Regosoles litosólicos y regosoles eútricos, que en todos los casos son suelos que presentan un perfil tipo A - C, sometidos a continuos y fuertes procesos erosivos condicionados por el carácter

TABLA 5. Composición química media de los fangos de flotación de El Arteal. Valores en ppm excepto Fe y Sr (%)

	Media	desviac. Stand.	Máximo	Mínimo
Ag	27,5	9,12	46	15
As	265	84,03	460	200
Ba	49500	15114,40	85000	32000
Br	5	3,66	9	0,9
Cr	84,5	24,31	450	52
Fe	12,6	1,3	15,4	10,4
Sb	190	64,67	270	110
Sr	0,45	0,132	0,7	0,31
W	17	1,83	20	15
Zn	2220	380,99	2620	1520

torrencial de las lluvias en el sudeste español, por las fuertes pendientes y sobre todo por la escasa cobertera vegetal como consecuencia de su antiguo uso agrícola, el sobrepastoreo y la fuerte desforestación producida por las actividades mineras. En cualquier caso estos suelos presentan una alta pedregosidad, tanto en superficie como en profundidad, una textura franco arenosa gruesa y, en la mayoría de los casos no están carbonatados, con valores de pH que oscilan entre 8,0 y 8,5.

En los depósitos aluviales antiguos y/o cuaternarios indiferenciados AGUILAR et al. (1988) describen la presencia de Fluvisoles cálcicos en fase salina, ya que presentan unos valores de conductividad eléctrica del extracto de saturación que oscilan entre 2 y 16 dS m<sup>-1</sup>.

Estos suelos carecen prácticamente de pedregosidad, con una textura franca con tendencia a franco arenosa en la que la arena fina y el limo son las fracciones más abundantes con una velocidad de infiltración estimada, según recogen MARAÑES et al., (1994) que oscila entre 11 y 100 mm h<sup>-1</sup>. El pH oscila entre 8,0 y 8,3 y permanece constante en profundidad.

#### 4.- MOVILIZACION DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES.

##### Aspectos Geoquímicos generales

##### Plata:

A pesar de ser un elemento poco abundante en el suelo (con valores que oscilan entre 0,03 y 8 ppm según MCBRIDE, 1994), es uno de los metales pesados más tóxicos para los seres vivos.

En la naturaleza aparece asociada fundamentalmente a la galena (PbS), aunque puede encontrarse también en forma nativa (como ocurre en Las Herrerías) o como sulfosal.

En el suelo puede encontrarse como catión simple (Ag<sup>+</sup>, Ag<sup>2+</sup>, AgO<sup>-</sup>) o formando aniones complejos bastante estables con bromuro, yoduro, cloruro y con las sustancias húmicas del suelo.

En ambientes reductores precipita fácilmente como sulfuro (argentita), disminuyendo por tanto

su solubilidad y con ello su movilidad. Por otro lado su movilidad va a estar condicionada directamente por el pH del medio, siendo prácticamente inmóvil a pH > 4.

Es adsorbido fácilmente por minerales de la arcilla, óxidos e hidróxidos de Fe y Mn y también por la materia orgánica del suelo, al igual que ocurre con otros metales pesados, por lo que la concentración de la misma en el horizonte superficial del suelo suele ser mayor que en los horizontes más profundos.

En suelos contaminados por plata, las cantidades absorbidas por las plantas parece estar relacionada con las concentraciones de la misma en el suelo pudiendo alcanzar niveles tóxicos. En este sentido, resulta destacable señalar la acumulación de los metales pesados en las plantas (tomillo) del área minera del Valle del Azogue (NAVARRO et al., 1997) alcanzándose valores del orden de algunas ppm para el Hg, Ag, Pb y Zn.

##### Bario

El bario es un elemento relativamente abundante en la corteza terrestre y por ello también en los suelos, donde los contenidos medios oscilan entre 84 y 838 ppm (MCBRIDE, 1994).

La principal mena de bario es la baritina (BaSO<sub>4</sub>), aunque geoquímicamente también se encuentra asociado con los feldespatos y con la biotita en los que puede ser sustituido por el K<sup>+</sup> que presenta radio iónico similar.

Es un elemento poco móvil en el suelo, ya que tiende a precipitar fácilmente como sulfato (baritina), carbonato (witherita) y se acumula en las concreciones de Mn y P o es adsorbido por las arcillas.

Es un ion extremadamente tóxico para los animales por ingestión de sus sales solubles (tabla 6) y además puede ser absorbido por las plantas, si bien existen pocos trabajos que traten la toxicidad por Ba en las mismas.

##### Antimonio

Es un elemento muy poco abundante en los suelos naturales (0,19 - 1,77 ppm según MCBRIDE, 1994). Concentraciones mayores de este metal se

encuentran directamente asociadas a yacimientos de estibina (Sb<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) o algunas sulfosales (boulangerita, bournonita, tetraedrita, etc., todas ellas presentes en la zona estudiada).

Geoquímicamente se encuentra asociado al As, por lo que suelen aparecer juntos. Presenta dos estados de oxidación : +3 y +5. En ambiente reductor la forma estable es Sb<sup>+3</sup>, presentándose como Sb(OH)<sub>3</sub>, que a pH ácido se transforma en Sb(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup>, mientras que a pH alcalinos la forma estable es Sb(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>. En ambiente oxidante la forma estable es Sb<sup>+5</sup>, que a pH ácido se encuentra como Sb(OH)<sub>5</sub>, apareciendo como Sb(OH)<sub>6</sub> para pH > 4.

Presenta una movilidad moderada, disminuyendo ésta en condiciones reductoras y suelos con drenaje deficiente. En forma de anión puede sufrir procesos de adsorción por las arcillas y óxidos presentes en el suelo.

No existen trabajos relacionados con la toxicidad

TABLA 6. Toxicidad de los elementos traza más importantes. Modificado de MCBRIDE (1994) y ALLEN et al. (1993).

ELEMENTO	ESPECIE DE MAYOR TOXICIDAD	TOXICIDAD PARA LAS PLANTAS	TOXICIDAD PARA LOS MAMIFEROS
Ag	Ag <sup>+</sup>	H (5-10)	H
Al	---	M (50-200)	L
As	AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	MH (5-20)	H
B	B(OH) <sub>3</sub>	M (50-200)	L
Ba	Ba <sup>2+</sup>	L (500)	H (formas solubles)
Be	Be <sup>2+</sup>	MH (10-50)	H
Cd	Cd <sup>2+</sup>	MH (5-30)	H
Co	Co <sup>2+</sup>	MH (15-50)	M
Cr	Cr <sup>6+</sup>	MH (5-30)	H (Cr <sup>6+</sup> )
Cu	Cu <sup>2+</sup>	MH (20-100)	M
F	---	LM (50-500)	M
Fe	---	L (>1000)	L
Hg	CH <sub>3</sub> Hg	H (1-3)	H (formas solubles volátiles)
Mn	Mn <sup>2+</sup>	LM (300-500)	M
Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	M (10-50)	M
Ni	Ni <sup>2+</sup>	MH (10-100)	M
Pb	Pb <sup>2+</sup>	M (30-300)	H
Sb	---	M (150)	H
Se	SeO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	MH (5-30)	H
Tl	---	MH (20)	H
V	---	H (5-10)	H
Zn	Zn <sup>2+</sup>	LM (10-400)	LM

H: alta toxicidad; M: toxicidad moderada; L: baja toxicidad. (21): concentración en ppm en las plantas indicativa de sensibilidad y tolerancia.

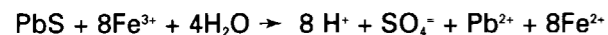
en plantas causada por el Sb, aunque se puede poner de manifiesto un aumento en el contenido de este metal en plantas que crecen en suelos contaminados con Sb.

#### Plomo

Presenta una gran afinidad por el azufre y es por ello que en la naturaleza suele encontrarse como sulfuro (galena) o como sulfosal (bournonita, boulangerita, etc.)

Posee dos estados de oxidación: +2 y +4. Es uno de los metales pesados con menor movilidad sobre todo en condiciones reductoras (ya que precipita como sulfuro por reducción de sulfatos) y pH alcalinos en los que precipita como hidróxido, fosfato o carbonato a la vez que puede formar complejos orgánicos (su solubilidad en el suelo es unas 100 veces menor que la del Cd para un rango de pH entre 5 y 9).

En condiciones oxidantes, la galena se oxida según la reacción:



en la que parte de este  $\text{Pb}^{2+}$  que se incorpora al medio precipita rápidamente como sulfato (anglesita).

Forma complejos con la materia orgánica del suelo, por lo que la concentración de Pb en la superficie del suelo es mayor que en profundidad. En zonas áridas y semiáridas los suelos no sólo son alcalinos y salinos por naturaleza, sino que parte de esta salinidad puede encontrarse asociada a los cloruros, por lo que éstos pueden formar con el Pb (y con otros metales pesados) complejos clorurados como  $\text{PbCl}^+$ ,  $\text{PbCl}_2$ ,  $\text{PbCl}_3^-$ , etc. bastante estables, lo que podría llevar consigo un ligero aumento en la movilidad de este metal.

Es adsorbido principalmente por la materia orgánica y los minerales de la arcilla y en menor medida por óxidos de Mn, Fe y posiblemente Al (la adsorción por óxidos de Mn es unas 40 veces mayor que la de los óxidos de Fe). Al mismo tiempo estos óxidos de Fe y Mn pueden ser retenidos por la propia materia orgánica del suelo.

Se trata de un metal muy tóxico tanto para ani-

males como para plantas, produciéndose su toxicidad en los humanos tanto por ingestión como por inhalación de compuestos orgánicos de Pb, como el tetrametilplomo. Afecta también a la actividad biológica del suelo, limitando la actividad enzimática encargada de la descomposición de la materia orgánica.

El contenido en plomo de las plantas que crecen en suelos contaminados por este metal es generalmente alto. El metal es acumulado principalmente en la raíz, y solamente un pequeño porcentaje pasa al resto de la planta. Los niveles de Pb en el suelo que pueden ser considerados como tóxicos para las plantas no son fáciles de determinar, pero algunos autores establecen un rango entre 100 y 500 ppm.

Es un metal muy persistente en el suelo, y para reducir su concentración a la mitad en un suelo en condiciones naturales pueden transcurrir de 740 a 5900 años en función de las condiciones y del tipo de suelo (KITAGISHI y YAMANE, 1981).

#### Zinc

Su gran afinidad por el azufre condiciona que la forma predominante en la naturaleza sea el sulfuro (esfalerita). Los contenidos medios en suelos naturales oscila entre 17 y 125 ppm (MCBRIDE, 1994), siendo el estado de oxidación +2 el único posible en el suelo.

En medio ácido y ambiente oxidante presenta una movilidad media y es adsorbido por los minerales de la arcilla y la materia orgánica por fenómenos de cambio catiónico. Por el contrario, si el pH es alcalino sufre sorción química por óxidos y aluminosilicatos por lo que la movilidad de este metal en suelos neutros es muy baja. En suelos ligeramente alcalinos, puede formar complejos orgánicos, por lo que aumenta su movilidad y en suelos fuertemente alcalinos forma hidroxianiones por lo que aumenta su solubilidad.

En ambientes reductores los óxidos de Fe son incorporados de nuevo al medio y con ellos también el Zn, aunque su movilidad está muy restringida por la escasa solubilidad del ZnS.

En definitiva, los minerales de la arcilla, oxihidróxidos y el pH son los factores que controlan la movilidad del Zn en el suelo, mientras que la

formación de complejos orgánicos, la precipitación de hidróxidos, carbonatos y sulfuros de Zn son procesos de menor importancia.

#### Arsénico

Este elemento se encuentra presente en un gran número de minerales. De todos ellos los más significativos son: arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ), rejalgar ( $\text{AsS}$ ), oropimente ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ) y algunas sulfosales como tenantita, tetraedrita, etc. A pesar de ello es un elemento muy poco abundante en los suelos, oscilando su contenido medio entre 2.2 y 25 ppm (MCBRIDE, 1994).

Posee cuatro estados de oxidación: -3, 0, +3 y +5. En ambiente reductor las formas predominantes son  $\text{As}^0$  y  $\text{As}^{3+}$ , mientras que en ambiente oxidante lo es el  $\text{As}^{5+}$ . El estado de oxidación del arsénico tiene una gran importancia en los procesos de adsorción de este ion por parte del suelo. Así, el  $\text{As}^{3+}$  es de 4 a 10 veces más soluble en el suelo que el  $\text{As}^{5+}$  (BRENCHLEY, 1914), debido a que el  $\text{As}^{5+}$  es fijado con mayor fuerza que el  $\text{As}^{3+}$ . La adsorción de este elemento en el suelo se encuentra condicionada por la presencia básicamente de minerales de la arcilla y sustancias húmicas, si bien las sustancias que intervienen de forma más efectiva en la adsorción del As son los óxidos y oxihidróxidos de Fe (BOWELL, 1994; VOIGT et al. 1996), y en menor medida los de Mn y Al.

Puede formar una gran cantidad de compuestos en el suelo, estando tanto su estabilidad como su movilidad controlada por el pH y Eh (BOWELL, 1994). Si el Eh es bajo, el  $\text{As}^{3+}$  predomina sobre  $\text{As}^{5+}$  y la disolución de los óxidos y oxihidróxidos puede aumentar la concentración de arsénico en la solución. Por otra parte, en condiciones oxidantes, un descenso en el pH llevaría asociado la coprecipitación del arsénico con los óxidos de hierro (BOWELL, 1994).

Las formas aniónicas como  $\text{AsO}_2^-$ ,  $\text{AsO}_4^{3-}$ ,  $\text{HAsO}_4^{2-}$ , y  $\text{H}_2\text{AsO}_3^-$  son las formas con mayor movilidad.

El arsénico es un elemento que puede ser afectado por la actividad bacteriana, que se traduce en una aceleración del proceso de oxidación del  $\text{As}^{3+}$  a  $\text{As}^{5+}$  y procesos de metilación, con la consiguiente generación de compuestos orgánicos volátiles muy tóxicos.

#### 5.- MECANISMOS DE MOVILIZACIÓN

En la movilización de los contaminantes desde las zonas de vertido de residuos o estériles pueden considerarse dos etapas o episodios (fig. 8):

- 1) Movilización desde el foco contaminante hasta el suelo o sedimentos fluviales.
- 2) Movilización de los contaminantes en el suelo hacia la zona saturada.

En ambos casos, y en primer lugar, la movilidad de los distintos contaminantes dependerá del tipo de sustancia, del grado de alteración del compuesto del que forma parte, y también de las condiciones físico-químicas en que se encuentren dichas sustancias. Así los contaminantes en estado gaseoso, como ocurre con el vapor de mercurio, migrarán hacia la atmósfera desde la zona no saturada (NAVARRO, 1997), y por otro lado los contaminantes en fase sólida se moverán gracias a su pequeño tamaño por la acción del viento, o bien serán arrastrados y/o disueltos por la escorrentía superficial o por la acción de la infiltración en el terreno.

En el caso de la acción del viento, dada la extrema aridez de la zona (la precipitación media es inferior a 200 mm/año) y la escasez de vegetación, es posible una intensa dispersión mecánica, tal y como puede observarse en días ventosos, constituyendo el principal mecanismo de movilización desde los focos de contaminación. Dicho mecanismo parece ser también de gran importancia en la removilización del plutonio vertido accidentalmente a unos 3 km de la zona del El Arteal (Palomares), dando lugar a un "penacho" en el suelo de considerables dimensiones (ENRESA, 1992).

La acción del viento junto con la escorrentía superficial parecen estar en el origen de la distribución de los metales pesados y otros contaminantes alrededor de los fangos de flotación de El Arteal (fig. 9 a 13), que constituye el foco fundamental de contaminación de toda esta región.

El mapa de isocontenido en Ag (fig. 9) señala una importante anomalía en dicho metal centrada en los depósitos de fangos de flotación, y que parece ser el producto de la acción del viento (de



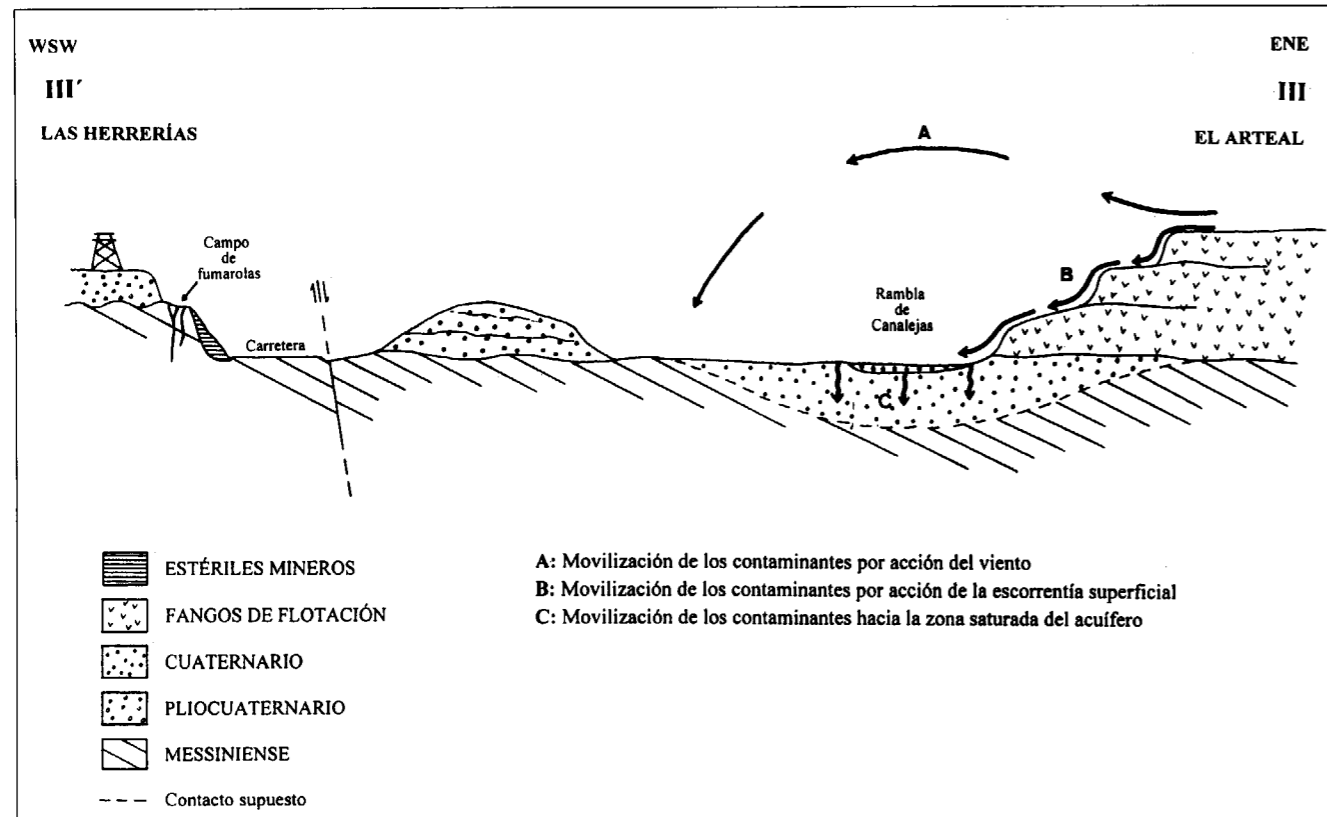


Figura 8: Perfil OSO-ENE de la zona de El Arteal. Descripción de los mecanismos de movilización.

componente dominante N-S), la escorrentía sobre la rambla de Canalejas y el transporte de sedimentos ejercido por la rambla, que provoca concentraciones apreciables de Ag a 500 m de distancia.

El mapa de isocontenido en Zn (fig. 10) señala una gran zona contaminada de morfología similar a la anterior, y en la que destaca el hecho de que se superan las 720 ppm de Zn en una extensión de unos 0,6 km<sup>2</sup>, siendo dicho valor el valor de "intervención" en normativas de suelos contaminados, internacionalmente aceptadas, como lo es la holandesa.

Los mapas de isocontenido en As (fig. 11), Ba (fig. 12) y Sb (fig. 13), muestran una distribución elemental parecida, presentándose amplias zonas con contenidos muy superiores a los de la normativa holandesa. En este sentido, merece la pena destacar la existencia de niveles de Ba superiores a las 50000 ppm, y cuyo límite de intervención es de 635 ppm.

La movilización de estos contaminantes, en una segunda etapa, desde la parte superficial del suelo y sedimentos fluviales, hasta la zona saturada del acuífero deltaico, parece algo más problemática a causa de la pequeña infiltración anual, y de la existencia de una zona no saturada cuyo espesor puede llegar a alcanzar valores en torno a 30 m (COLLADO et al., 1996), en la zona deltaica y valores inferiores en los aluviales que desembocan en el río Almanzora.

La atenuación que se produce en la zona no saturada parece estar controlada por la existencia de un medio moderadamente oxidante, con escasez de materia orgánica y en la que se observa una gran abundancia de material arcilloso, producto de la meteorización de las margas del Terciario, que constituyen una buena parte del material aflorante en la cuenca.

Por todo ello parece evidente la acción de los distintos mecanismos básicos de control de la movilidad de los metales pesados como son los siguientes:

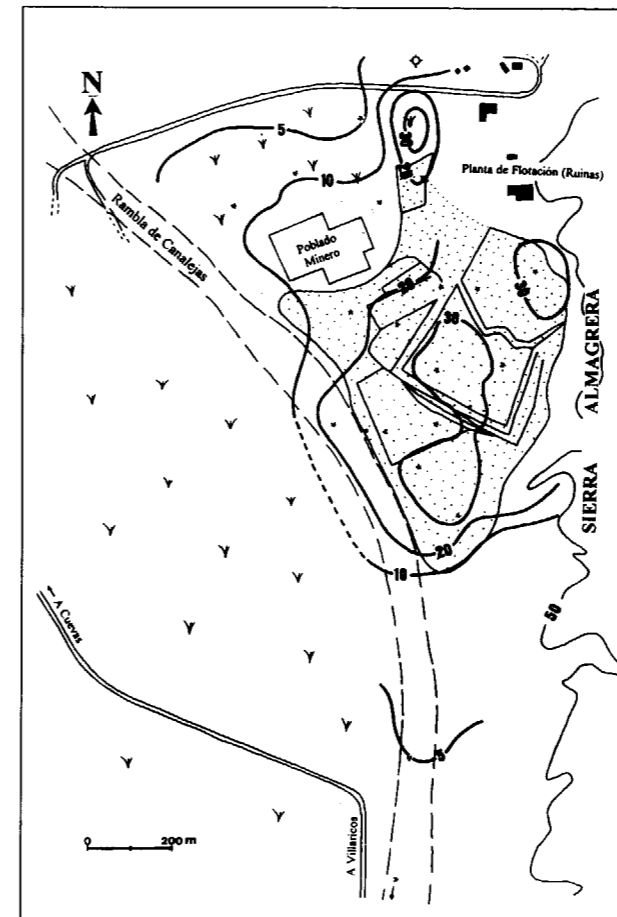


Figura 9: Mapa de isocontenido en Ag (valores en ppm).

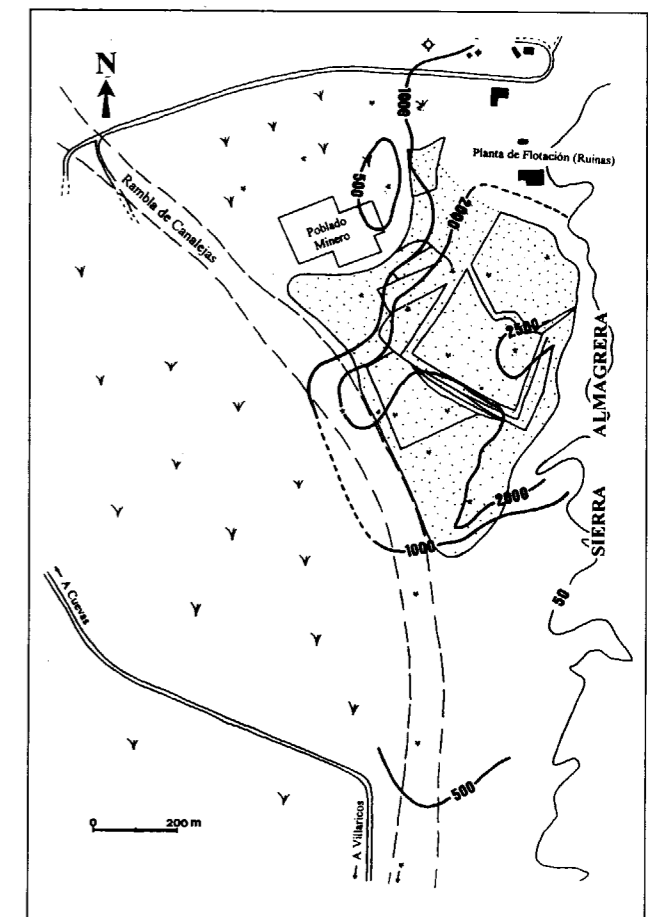


Figura 10: Mapa de isocontenido en Zn (valores en ppm).

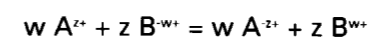
### 1) Precipitación / disolución:

Esta noción de precipitación/disolución es independiente de la fijación. La precipitación es un proceso más importante que la disolución, pero sus mecanismos están mal conocidos, aunque es un hecho la muy baja solubilidad que presentan la inmensa mayoría de los metales pesados.

### 2) Adsorción / desorción:

Los mecanismos que explican la fijación o desprendimiento de los metales pesados, son básicamente dos:

#### a) Intercambio iónico (en metales catiónicos)



$$N_E = z A^{-z+} + w B^{w+}, \text{ donde:}$$

$N_E$ : capacidad de cambio del sólido  
-: especies superficiales

#### b) Complejación superficial:

No son reacciones instantáneas y en general pueden considerarse como un caso particular del intercambio iónico donde los cationes intercambiados son  $M^{z+}$  y  $H^+$ , siendo  $H^+$  usado como catión de referencia.



Estas reacciones dependen del pH y de la carga superficial. Los principales intercambiadores catiónicos son las arcillas, óxidos/hidróxidos y materia orgánica.

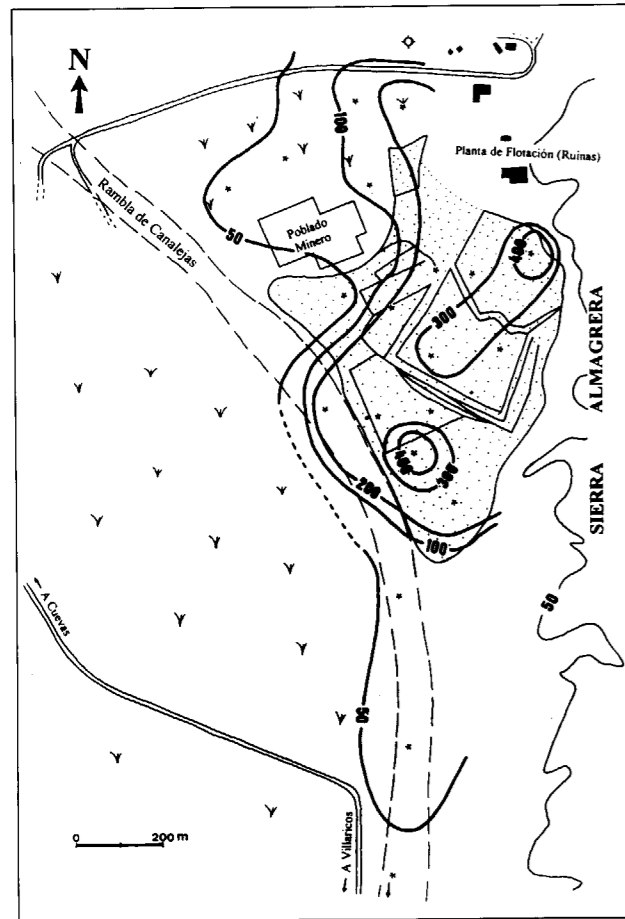


Figura 11: Mapa de isocontenido en As (valores en ppm).

La importancia individual de cada uno de estos mecanismos no se conoce a la luz del estado actual de los conocimientos existentes de esta zona, sin embargo si se comparan los valores medios de algunos elementos en el suelo y en las aguas subterráneas (tabla 7) podrían plantearse a título de hipótesis los siguientes mecanismos de control de la movilidad:

- 1) Dispersión mecánica por acción del viento y de la escorrentía superficial, capaz de movilizar desde los focos de contaminación los siguientes metales: Ag, Ba, Sb, Pb, Zn y As.
- 2) Transporte de vapor de mercurio desde las zonas contaminadas hacia la atmósfera y la parte apical del suelo o coberteras existentes sobre zonas mineralizadas o depósitos de estériles.
- 3) Inmovilización del As, Cr, Mo, Ni, Se y Sb; a

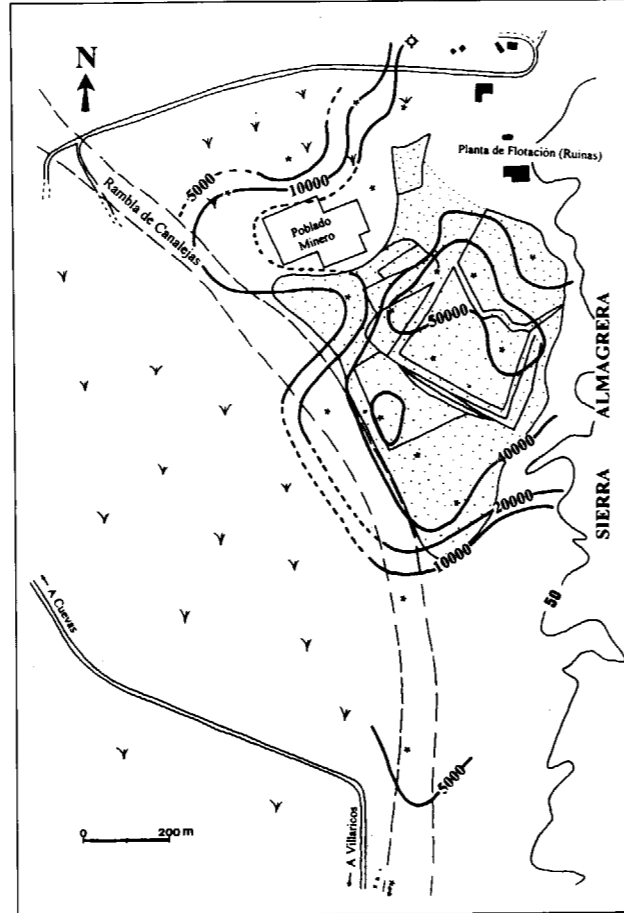


Figura 12: Mapa de isocontenido en Ba (valores en ppm).

causa de la posible adsorción por los óxidos de Fe-Mn, material húmico y arcillas de la zona no saturada.

- 4) Moderada movilización del Zn y Pb, producida en el primer caso por las condiciones del medio (moderadamente ácido y oxidante); y en el 2º por la salinidad del suelo.
- 5) Movilización del Ba y Sr hasta la zona saturada, aunque en el caso del Sr su alto contenido en el acuífero puede provenir también de la entrada de aguas termales, y del aporte de las rocas que constituyen el acuífero deltaico.

#### 6.- MEDIDAS DE REMEDIACION

Las posibles medidas de remediación capaces de reducir el impacto ambiental de los residuos

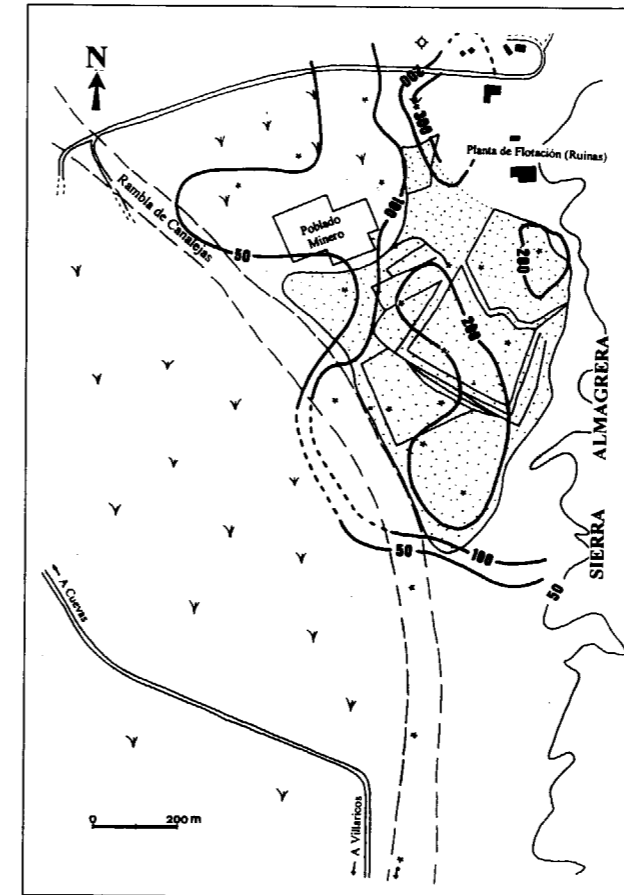


Figura 13: Mapa de isocontenido en Sb (valores en ppm).

mineros podrían sistematizarse del modo siguiente:

- 1) Instalación de barreras impermeables y/o reactivas que impidan la movilización de los contaminantes mediante el movimiento de fluidos, fundamentalmente la escorrentía superficial y la infiltración.
- 2) Reprocesamiento de los residuos y separación de los metales pesados. Esta medida sería únicamente aplicable a las escombreras con contenidos metálicos que tuvieran un interés económico, y parece poco viable para los fangos de flotación.
- 3) Creación de un vertedero controlado y transporte de los residuos mineros más peligrosos hasta el mismo. Aunque es una medida técnicamente viable, dada la existencia de un substrato

TABLA 7.- Comparación entre los valores medios de algunas sustancias en los suelos contaminados por fangos de flotación (A) en la zona próxima a Sierra Almagrera, los ensayos de lixiviación realizados en columna a partir de dichos suelos (B), y los valores medios detectados en el agua subterránea (C) del acuífero del Delta del río Almanzora.

SUBSTANCIA	A (ppm)	B (ppb)	C (ppb)	MOVILIDAD
Ag	27,5	N. D.	N. D.	moderada/baja
As	265,0	N. D.	> 10	escasa, adsorbido por óxidos de Fe
Ba	49500,0	177,4	18,78	baja
Br	5,0	N. D.	N. D.	----
Cr	84,5	N. D.	< 25	baja; alta para pH/Eh altos
Fe (%)	12,6	1018,0 (*)	112,3	baja para Eh alto y pH neutro
Mo	7,6	17,7	2,0	Gte. alta; baja para Eh y pH bajos
Ni	48,0	N. D.	< 20	moderada/baja
Se	< 5,0	N. D.	< 50	----
Sb	190,0	N. D.	< 1	baja/moderada
Sr	45000,0	723,2	9998,3	----
W	17,0	N. D.	N. D.	----
Zn	2220,0	79,5	17,7	alta
Pb	5428,0	30,1	1,5	baja

A: determinado por Activación Neutrónica, excepto Zn y Pb, analizados por AAS.

B y C: determinado por ICP-MS, en la Universidad de Barcelona.

N. D.: no determinado.

(\*): ensayo con agua destilada.

rocoso de baja permeabilidad (margas del Messiniense) en las cercanías de las áreas mineras, su aplicación se vería dificultada por las siguientes razones:

Elevada cantidad de residuos a transportar. Únicamente en el caso de los fangos nos encontramos con valores de varios millones de tm.

Coste económico de la operación de transporte, así como de la construcción, operación y mantenimiento de un vertedero controlado.

Rechazo de la opinión pública a los vertederos de residuos y en especial en regiones como ésta, especialmente sensibilizadas hacia la problemática ambiental.

4) Control de los procesos de oxidación mediante la construcción de barreras de arcilla superficiales que impidan la difusión de oxígeno atmosférico hacia los residuos mineros. Esta medida suele ser útil en climas húmedos, no obstante en



zonas áridas presenta un rendimiento escaso (WILSON et al., 1995), y tiene el inconveniente de tener que adaptarse a unos depósitos mineros de elevada pendiente, y por tanto con una elevada probabilidad de erosión de dicha cobertera arcillosa.

5) Tratamiento "in situ" de los residuos mediante técnicas de inertización, que transformen las fases minerales más solubles en formas insolubles o al menos poco reactivas. Se trataría de una medida interesante, por la inmovilización de las sustancias contaminantes a largo plazo, pero de alto coste económico.

6) Fijación mediante coberteras impermeables (arcillas o geotextiles) de los vertederos con residuos de fracción fina (fundamentalmente fangos de flotación), con el fin de impedir la movilización de los contaminantes por la acción del viento.

En cualquier caso, el saneamiento de los espacios contaminados debería contemplar también el estudio y caracterización de las zonas agrícolas que existen en las proximidades de los focos de contaminación, en las cuales se han detectado importantes concentraciones de metales pesados y otros contaminantes.

## 7.- CONCLUSIONES

El estudio de los suelos y sedimentos fluviales de la cuenca baja del río Almanzora (Almería) ha revelado una importante contaminación de origen minero, caracterizada por la presencia de elevadas concentraciones de Ag, As, Ba, Sb, Zn y Pb, en extensas zonas de esta región, que parecen incluso afectar a los sedimentos marinos someros.

La movilización de los contaminantes desde los depósitos de residuos mineros parece controlada por distintos mecanismos, entre los que destacan: dispersión mecánica por acción del viento y la escorrentía superficial y transporte de los contaminantes desde el suelo hacia la zona saturada del acuífero deltaico, por efecto de la infiltración.

La escasa presencia de metales pesados en el agua subterránea parece indicar una importante adsorción en los óxidos de Fe-Mn, materia orgá-

nica y fracción arcillosa de la zona no saturada, produciéndose una inmovilización de metales como As, Cr, Mo, Ni, Fe y Sb.

Únicamente se ha comprobado una cierta movilidad hacia el acuífero del Pb y Zn, así como del Ba y Sr, aunque este último presenta de forma natural altas concentraciones en el agua subterránea.

En relación a las posibles medidas de remediación, parece necesario actuar en las zonas más contaminadas mediante la instalación de barreras impermeables y/o reactivas que impidan la movilización de los contaminantes por acción del agua, y la fijación de los residuos mineros de fracción fina, con el fin de impedir su movilización a causa de la acción del viento.

## 9.- AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado mediante la colaboración entre los Dptos. de Edafología y Química Agrícola de la Universidad de Almería, Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica de la Universidad de Barcelona y Mecánica de Fluidos de la Universidad Politécnica de Cataluña. El estudio se ha financiado con los fondos públicos procedentes de la CICYT, correspondientes a los proyectos de investigación AMB93-1214 e HID96-1418.

## REFERENCIAS

- AGUILAR, J.; FERNANDEZ, J.; de HARO, S y SANCHEZ, J. A. (1988): "Mapa y memoria de suelos a escala 1:100000 de las hojas del M.T.N. de Garrucha (1015) y Mojacar (1032)." Proyecto LUCDEME. Ed. Revisatlas. Madrid. Pp. 136.
- ALLEN, H. E.; PERDUE, E. M. y BROWN, D. S. (1993): "Metals in Groundwater". Lewis Publ., 437 pp.
- BOWELL, R. J. (1994): "Sorption of arsenic by iron oxides and oxyhydroxides in soils". Applied Geochemistry, Vol. 9, pp. 279-286.
- BREUCHLEY, W. E. (1914): "Ann. Botany", 28: 283-301
- COLLADO, D.; NAVARRO, A., SOLER, M. A. y MARTIN, A. (1996): "Contaminación de Suelos y Aguas Subterráneas en el Delta del río Almanzora". IV SIAGA, Vol. II, pp. 257-267.
- CUADRADO, J. (1947): "Almizaraque, la más antigua explotación de plata de España". 2º Congreso Arqueológico del Sudeste Español. Albacete, 1946-47, pp. 168-185.

ENRESA (1992): "Desarrollo de un modelo de resuspensión de suelos contaminados: Aplicación al área de Palomares". Publicación Técnica nº 09/92, 70 pp.

EZQUERRA DEL BAYO, J. (1884) "Datos y observaciones sobre la industria minera". Madrid.

FULLER, W. H. (1977): "In movement of selected metals, asbestos and cyanide in soil: application to waste disposal problem". EPA-600/2-77-020. Solid and Hazardous Waste Res Div., US-EPA, Cincinnati, OH, 234 pp.

FERRE BUENO, E. (1979): "El Valle del Almanzora. Estudio Geográfico". Edición conjunta de la Caja Rural Provincial, Diputación Provincial y M. P y Caja de Ahorros de Almería.

GUERRERO, J.; RODRIGUEZ, C.; DEYA, M. y JORNET, A. (1989): "Metales pesados en sedimentos marinos del Golfo de Vera (Almería)". Inf. Tec. Inst. Esp. Oceanogr. Nº 83.

INI (1952): "Minas de Almagrera S. A.". Revista de Información del Instituto Nacional de Industria. Año VI, Nº 1, pp. 1-11.

KITAGISHI, K. y YAMANE, J. (1981): "Heavy Metal Pollution in soil of Japan". Japan Science Soc. Press, Tokyo, 302 pp.

LOPEZ GUTIERREZ, J.; MARTINEZ FRIAS, J.; LUNAR, R. y LOPEZ GARCIA, J. A. (1993): "El Rombhorst mineralizado de Las Herrerías. Un caso de Dómingo e Hidrotermalismo submarino Mioceno en el SE Ibérico". Est. Geol., Vol. 49, pp. 13-19.

MARAÑES, A.; SANCHEZ, J. A.; de HARO, S.; SANCHEZ, S. T. y LOZANO, F. J. (1994): "Análisis de suelos. Metodología e interpretación." Ed. Copysur. Almería.

MARTIN ESCORZA, C. y LOPEZ RUIZ, J. (1980): "La región volcánica neógena del sureste de España". Estudios Geológicos. Vol. 36, pp. 5-63.

MARTINEZ FRIAS, J.; GARCIA GUINEA, J.; LOPEZ RUIZ, J.; LOPEZ GARCIA, J. y BENITO GARCIA, R. (1989): "Las mineralizaciones epitermales de Sierra Almagrera y de la Cuenca de Las Herrerías, Cordilleras Béticas". Bol. Soc. Española de Mineralogía; Vol. 12, pp. 261-271.

MARTINEZ FRIAS, J. (1991): "Sulphide and sulphosalt Mineralogy and Paragenesis from the Sierra Almagrera Veins, Betic Cordillera (SE Spain)". Estud. geol. Vol. 47, pp. 271-279.

MARTINEZ FRIAS, J.; GARCIA GUINEA, J.; LOPEZ RUIZ, J. y REYNOLDS, G. A. (1992): "Discovery of Fossil Fumaroles in Spain". Economic Geology, Vol. 87, pp. 444-446.

McBRIDE, M. B. (1994): "Environmental Chemistry of Soil". Oxford University Press, 406 pp.

MOLINA SANCHEZ, A. (1991): "Cuevas: la tierra de la plata". Edición del Ayuntamiento de Cuevas del Almanzora. 405 pp.

NAVARRO, A.; VILADEVALL, M.; FONT, X. y RODRIGUEZ, P. (1994a): "Las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería). Estudio geoquímico y modelos de yacimientos". Boletín Geológico y Minero, Vol. 105-1, pp. 85-101.

NAVARRO, A. y VIRTO, L. (1994b): "Fundamentos básicos de la modelización de sistemas hidrotermales. Aplicación teórica al sistema Almagrera-Herrerías". Geología y Metalogenia en ambientes oceánicos. Depósitos Hidrotermales Submarinos. Publicaciones Especiales I. E. O. nº 18, pp.39-51.

NAVARRO, A. (1997): "Modelización teórica del transporte de vapor de mercurio a partir de zonas mineralizadas: Aplicación a la localización de yacimientos epitermales." Recursos Naturales y Medio Ambiente en el SE Peninsular. De. García-Rossell, L. y Navarro, A.; pp. 307-320.

NAVARRO, A., COLLADO, D., FONT, X. Y VILADEVALL, M. (1997): "Geoquímica de las mineralizaciones auríferas de Sierra Almagrera (Almería, España)." Recursos Naturales y Medio Ambiente en el SE Peninsular. De. García-Rossell, L. y Navarro, A.; pp. 321-333.

PEREZ DE PERCEVAL, J. (1989): "Minería Almeriense Contemporánea". Instituto de Estudios Almerienses, Diputación Provincial de Almería, 350 pp.

SANCHEZ PICON, A. (1983): "La Minería del Levante Almeriense: 1838-1930. Especulación, Industrialización y Colonización Económica". Editorial Cajal, Almería, 308 pp.

SIRET, L. (1907): "Villaricos y Herrerías. Antigüedades Púnicas, Romanas, Visigóticas y Arabes". Memoria Descriptiva e Histórica. Edición facsimil, Mariarsa Ed.; Madrid 1985, 102 pp.

SOUVIRON, R. (1899): "El desagüe de Sierra Almagrera". Rev. Minera Metalúrgica y de Ingeniería. pp. 1716.

TAPIA, A. (1987): "Historia de la Vera Antigua". Servicio de Publicaciones de la Diputación Provincial de Almería, 329 pp.

WILSON, G. W.; BARBOUR, S. L.; SWANSON, D. y OKANE, M. (1995): "Instrumentation and modelling for saturated/unsaturated performance of soil covers for acid generating waste rock". Hydrogéologie, Nº 4, pp. 99-108.

VOIGT, D. E.; BRANTLEY, S. L.; REMY, J. y HANNET, C. (1996): "Chemical fixation of arsenic in contaminated soils". Applied Geochemistry, Vol. 11, pp. 633-643.

Original recibido: Diciembre 1997.  
Original aceptado: Febrero 1998.

# INFORMACION

## APUNTES SOBRE LA MITOLOGIA MINERA EN LA AMERICA ANDINA

Por L. F. MAZADIEGO (\*) y O. PUCHE RIART (\*\*)

### INTRODUCCION

El sincretismo religioso es una de las características que mejor definen el folclore minero. Como expone GREGORIO IRIARTE en su obra *"Los mineros: sus luchas, frustraciones y esperanzas"* (1983), *"el espíritu del minero, hundido todo el día en la soledad tenebrosa de la mina, es extremadamente sensible a todo fenómeno religioso (...). El miedo a que la veta de estaño desaparezca, el miedo a los derrumbes de los viejos socavones; miedo a los accidentes fatales y a la silicosis, miedo a las almas de los que han muerto en las minas, miedo a los espíritus del mal. Las largas galerías, los buzones insondables, los antiguos parajes abandonados, son los lugares más apropiados para que en ellos se esconda todo mal espíritu"*.

Con la llegada del cristianismo a la zona andina, los quechuas y los aymaras, etnias predominantes de la región, incorporaron nuevos elementos a su particular credo, consiguiendo de esta manera, enriquecer su panteón divino. Así al menos lo afirma SANTIAGO MONAST en su libro *"El mundo religioso de los aymaras"* (1967), quien defiende que esta circunstancia se debe a que estos pueblos no entienden la fe desde planteamientos abstractos, sino vinculándola a su vida cotidiana, a sus temores e ilusiones. Quizá sea por lo que las definiciones de Señor, Santos o

(\*) E. T. S. Ingenieros de Minas de Madrid.

(\*\*) E. T. S. Ingenieros de Minas de Madrid e I.N.H.I.G.E.O.

Virgen tienen significados propios, no siempre coincidentes al cien por cien con los de la doctrina cristiana.

Este enraizamiento de la fe en el día a día configuró un universo de seres, tanto benignos o protectores como malignos o demoníacos, que servían como vehículo para explicar fenómenos naturales que escapaban de su comprensión. Y es en torno a las minas donde la riqueza de detalles y descripciones, la transmisión de leyendas y la celebración de rituales, alcanza un mayor nivel, acaso por la propia dureza del trabajo de extracción de los minerales.

### La leyenda del Chanco Verde

Si bien no se pueden clasificar de manera homogénea a los duendes y diablillos en todas las minas, ya que cada una de ellas adopta personajes propios, el Chanco Verde es uno de esos seres que se cita en la mayor parte de las explotaciones mineras de Sudamérica.

Según relatan las leyendas, el Chanco habita cerca de las vetas de metal, actuando a modo y manera de protector de las riquezas de la tierra. A medida que los mineros se aproximan a alguna zona rica en metal, el Chanco emite gruñidos y gritos, muchos de ellos en un tono lastimero, con el fin de asustar a los trabajadores. Pero si estos vencen el miedo y deciden beneficiar el mineral, el

(<sup>1</sup>) Chanco: Cerdo (N. E.)

Chanco, aturdido por la presencia de los humanos, echa a correr. Los que aseguran haberle visto y han sobrevivido a su maleficio, dicen que sus ojos centellean, no saben si de odio o de miedo, y que a su paso se desprende un intenso olor a azufre. Son muchos los que mueren al respirar tan penetrante olor.

RIGOBERTO PAREDES, famoso por su extensa obra *"Mitos, supersticiones y supervivencias populares de Bolivia"* (1963), considera que el Chanco es una alegoría del mal de mina o silicosis.

ASUNCION LORENZO (1997) también dedica unas líneas al Chanco Verde en su artículo sobre las minas bolivianas que fueron propiedad de Simón Iturri Patiño, llamado el *"rey del estaño"*: *"Los trabajadores cuentan historias sobre el Chanco Verde, una especie de cerdo maligno que se esconde en el interior de las minas y cuyo olor es el principal responsable de la silicosis"*.

### Las Vírgenes de las minas

Los mineros de Sudamérica profesan una especial fe en la Virgen María; no hay mina donde no se venera su imagen. La festividad de la Inmaculada Concepción, el ocho de diciembre, suele ser un día de alegría. Las galerías se engalanan, se escucha la música de las comparsas y se organizan procesiones.

En la importante población minera de Oruro, es la Virgen del Socavón la más querida. Normalmente, los festejos suelen combinar elementos cristianos y



paganos, tal y como asegura el ya citado GREGORIO IRIARTE, sacerdote que desarrolló gran parte de su labor pastoral a pie de mina y que acabó convirtiéndose en un firme defensor de los mineros en sus reivindicaciones laborales y políticas, sobre todo durante el mandato de los dictadores que asolaron los países hispanoamericanos.

El origen del culto a la Virgen del Socavón se remonta a la mitológica batalla entre Huari, dios del mal, y el pueblo de los Urus, antiguos pobladores de Oruro. Decidió castigarlos por haber abandonado el camino del mal que él les había mostrado. Para cumplir su venganza, envió a la tierra a tres animales mitológicos: por el Sur, una serpiente, por el Norte, un monstruoso sapo, y por el Este, una plaga de hormigas gigantes.

Cuando los Urus estaban a punto de ser rodeados, apareció una hermosa joven que desafió a Huari, que había adoptado la forma de un gran lagarto. Esta misteriosa mujer cercenó la cabeza del lagarto a golpe de espada, episodio que aún es recordado en los carnavales de Oruro cuando las nativas suben a los montes a matar cualquier lagartija que ose interponerse en su camino. Después, la joven convirtió a la serpiente y al sapo en rocas, y a las hormigas en arena.

Fue esa muchacha de la leyenda la que se transformó, ya imbuida por componentes cristianos, en la Virgen del Socavón. Sin embargo, la victoria no fue definitiva, ya que Huari se salvó escondiéndose en las profundidades de la tierra para velar los yacimientos minerales, sobre todo los de estaño.

La antropóloga estadounidense JANE NASH prefiere otro origen para la Virgen del Socavón. Transcribe una antiquísima tradición según la cual Huari fue quien convenció a los labradores para que abandonaran sus campos de cultivo y se esforzaran en escarbar en busca de minerales. De esta manera, sigue relatando NASH, la gente se alejó de una vida tranquila y pacífica por medio de borracheras y orgías organizadas con el dinero ganado tras la venta de los minerales. El resto de la historia difiere en poco de la anterior: aparecen la serpiente, el sapo y las hormigas, así como la Ñusta, virgen india luego identificada con la Virgen del Socavón. La serpiente petrificada puede ser vista, partida en

dos mitades, en la montaña donde está la ermita de Chiripugio; el sapo está convertido en piedra junto al cerro de San Pedro; el lagarto se muestra en la laguna de Cala Cala, donde murió ahogado en su propia sangre. Las hormigas se transformaron en las dunas que se amontonan en la periferia de la ciudad.

Por su parte, JOSE VICTOR ZACONETA publicó un hermoso relato en 1925 acerca de "la Virgen del Socavón y la corte infernal", donde defiende que hace unos tres siglos, un ladrón había construido su refugio en el cerro Pie del Gallo. Este hombre, llamado Chiru Chiru, vendía en los suburbios lo que robaba a los ricos y a los caciques. Sin embargo, durante una de sus transacciones comerciales, Chiru Chiru fue herido por obra de una certera puñalada en la espalda. Agonizante, deambuló sin rumbo hasta llegar a su guarida, donde murió protegido por la "mirada tierna y maternal de la Virgen, que por siempre quedó reflejada en uno de los muros de su vivienda".

Abundando en más historias acerca de la Virgen del Socavón, se cuenta la de Nina Nina, otro ladrón que fue auxiliado por la Virgen. De esta manera, los indígenas ven en esta Virgen a la madre que todo lo perdona, incluso las peores fechorías, movida por un amor y comprensión que ningún ser humano puede rechazar. La Virgen del Socavón, también identificada con la Virgen de la Candelaria, es el principal motivo de fe de los mineros, sobre todo a raíz del descubrimiento de su imagen alrededor del 1789.

#### El Tío, un diablo bueno

Como ya expresara GAMBOA (1761), "en las cercanías de las minas viven los diablos. Asimismo, en los cerros moran los dioses; el mismo Cerro de Potosí era una huaca, un lugar sagrado de culto". Acaso esta creencia es la última y más auténtica razón de la mitología creada en torno a las explotaciones mineras del área andina.

Asimismo, FEIJOO (1753) puntualiza que "mal persuadirán esto a los españoles americanos, que nunca se han quejado de que los demonios los ayan obligado a desamparar las minas, antes entretanto que esperan más abundancia de metal a mayor profundidad, con desprecio de diablos, que parecen no que-

rer encontrarlos aun en las cercanías del infierno".

Todos los años, los mineros bolivianos, ataviados con máscaras, rinden culto a la Virgen y al diablo. Participa el pueblo al completo distribuido en asociaciones, llamadas comparsas, con nombres tan pintorescos como los Diablos o Diabladas -verdadero centro del carnaval-, las Morenadas -en recuerdo de los esclavos traídos desde Guinea a las minas-, los Incas -con representaciones de la Conquista-, los Kullada -que simbolizan la labor de los hilanderos- o la Llamera -que conjugan un culto a la llama y una escenificación de los cargamentos de plata que eran ofrecidos al Inca-.

Como relata CARLOS DECKER-DELGADO (1988), "durante una semana, impresionantes diablos pasean sus víboras, lagartos y sapos por las calles", en recuerdo de la leyenda antes mencionada, "inmersos en una coreografía de una agresividad demoníaca. Cientos, miles de diablos vestidos de oropel, con cabezas de cuernos ensortijados y un colorido surgido de la más infernal de las paletas se adueñan de la población. Sus danzas rememoran hechos históricos y las creencias más profundamente arraigadas en los mineros".

El ritual dedica especial atención al encuentro entre el Supay y Satanás, recogido por GUILLERMO FRANCO-VICH: "Cercana la fecha de la Conquista, el Supay tuvo un sueño en el que vio arribar a las costas de América un monstruo alado que comandaba un poderoso ejército de hombres vestidos de metal que avanzaban sobre los lomos de animales con cuatro patas. El monstruo alado, todo él de un negro como el plumaje de los cuervos, se presentó a Supay diciéndole que era Satanás. Después de que los hombres blancos revestidos de metal derrotaran a los nativos, Satanás le ofreció a Supay para que le acompañara y así poder enseñarle e instruirle en los más secretos misterios del mal. Sin embargo, Supay, avergonzado por haber sido vencido en el campo de batalla, rechazó tal propuesta y se recluyó en los lugares más profundos de la tierra".

Será por este motivo por el que Supay intentará en lo sucesivo compensar a los mineros de la humillación que sufrieron sus antepasados. Es un diablo bueno, un ser generoso movido por un

#### El carnaval de Oruro

Durante el carnaval, los indígenas se disfrazan de diablos configurando las llamadas diabladas, danzas de extrema agresividad y movimiento, que simbolizan la rebelión contra el poder de los caciques. Son danzas de sublevación, anárquicas y llenas de intención.

Según expresara AUGUSTO BELTRAN HEREDIA, "los mineros para ganarse la aceptación del Supay, dueño de las riquezas minerales, organizaron las primeras comparsas de diablos, adornados con lagartos, sapos y serpientes, que obedecen a otro personaje vestido de Lucifer, también llamado Huaricato. Cantan y rezan a la Virgen, participan en la misa que se celebra en la iglesia del Socavón e hincan la rodilla delante del arcángel San Miguel".

El jueves de carnaval se convoca una reunión en los mercadillos, previa a la ofrenda al Tío. El rito se denomina convite. Se inicia al amanecer del viernes y consiste en el entierro de un "sullu" -feto- de llama o un gallo vivo de color blanco. Después tiene lugar la "Challa" o



Figura 1. El Tío a la entrada de una mina de interior de Bolivia

insufrible remordimiento. Es él, Supay, quien pone al alcance de los mineros, sus sobrinos, las buenas vetas de mineral. En la actualidad, el Supay ha sido reemplazado por el Tío, para afianzar su relación de parentesco con los mineros, y acaso, como comentan no pocos historiadores latinoamericanos, para defender su imagen y culto de las prohibiciones de los primeros gobernadores españoles.

Todos estos personajes, el Tío o Supay, la Virgen del Socavón y el lagarto, la serpiente, las hormigas y el sapo, forman parte de la representación del carnaval. Sus fechas de celebración no son casuales: mientras que los carnavales europeos se sitúan coincidiendo con la cosecha, en los países andinos, esto es en el Hemisferio Sur, también coinciden con tan relevante momento del ciclo de la vida de la comunidad. Aunque el protagonismo de los mineros es importante, no se olvidan ofrendas que recuerdan antiguos ritos de fertilidad relativos a la Pachamama.

El Tío suele estar representado en las entradas de todas las minas. Es modelado en barro. Su rostro es benevolente, siempre con una sonrisa entre pícaro e irónica. No debe faltarle un cigarrillo, ni tampoco una ración de chicha, -bebida alcohólica de maíz fermentado- coca y alcohol. Siete hojas de coca prendidas a

su cuerpo son el símbolo de los siete pecados capitales.

La ya citada ASUNCION LORENZO explica que "los mineros llevan regalos al Tío, un diablillo con muy mala fama al que se cree lo suficientemente poderoso como para provocar derrumbamientos. De ahí que todos los mineros le agasajen con tabaco y alcohol antes de comenzar la jornada. Tampoco se olvidan de derramar vino sobre el feto de una llama en las entradas de las galerías para agrandar a los espíritus, que, en caso de enfadarse, podrían provocar un desastre. Y, finalmente, los domingos piden perdón a Dios por creer en supersticiones".



Figura 2. Escenas del carnaval de Oruro





Figura 1. El Tío a la entrada de una mina de interior de Bolivia

insufrible remordimiento. Es él, Supay, quien pone al alcance de los mineros, sus sobrinos, las buenas vetas de mineral. En la actualidad, el Supay ha sido reemplazado por el Tío, para afianzar su relación de parentesco con los mineros, y acaso, como comentan no pocos historiadores latinoamericanos, para defender su imagen y culto de las prohibiciones de los primeros gobernadores españoles.

Todos estos personajes, el Tío o Supay, la Virgen del Socavón y el lagarto, la serpiente, las hormigas y el sapo, forman parte de la representación del carnaval. Sus fechas de celebración no son casuales: mientras que los carnavales europeos se sitúan coincidiendo con la cosecha, en los países andinos, esto es en el Hemisferio Sur, también coinciden con tan relevante momento del ciclo de la vida de la comunidad. Aunque el protagonismo de los mineros es importante, no se olvidan ofrendas que recuerdan antiguos ritos de fertilidad relativos a la Pachamama.

El Tío suele estar representado en las entradas de todas las minas. Es modelado en barro. Su rostro es benevolente, siempre con una sonrisa entre pícaro e irónica. No debe faltarle un cigarrillo, ni tampoco una ración de chicha, -bebida alcohólica de maíz fermentado- coca y alcohol. Siete hojas de coca prendidas a

su cuerpo son el símbolo de los siete pecados capitales.

La ya citada ASUNCION LORENZO explica que "los mineros llevan regalos al Tío, un diablillo con muy mala fama al que se cree lo suficientemente poderoso como para provocar derrumbamientos. De ahí que todos los mineros le agasajen con tabaco y alcohol antes de comenzar la jornada. Tampoco se olvidan de derramar vino sobre el feto de una llama en las entradas de las galerías para agrandar a los espíritus, que, en caso de enfadarse, podrían provocar un desastre. Y, finalmente, los domingos piden perdón a Dios por creer en supersticiones".



### El carnaval de Oruro

Durante el carnaval, los indígenas se disfrazan de diablos configurando las llamadas diabladas, danzas de extrema agresividad y movimiento, que simbolizan la rebelión contra el poder de los caciques. Son danzas de sublevación, anárquicas y llenas de intención.

Según expresara AUGUSTO BELTRAN HEREDIA, "los mineros para ganarse la aceptación del Supay, dueño de las riquezas minerales, organizaron las primeras comparsas de diablos, adornados con lagartos, sapos y serpientes, que obedecen a otro personaje vestido de Lucifer, también llamado Huaricato. Cantan y rezan a la Virgen, participan en la misa que se celebra en la iglesia del Socavón e hincan la rodilla delante del arcángel San Miguel".

El jueves de carnaval se convoca una reunión en los mercadillos, previa a la ofrenda al Tío. El rito se denomina convite. Se inicia al amanecer del viernes y consiste en el entierro de un "sullu" -feto- de llama o un gallo vivo de color blanco. Después tiene lugar la "Challa" o



Figura 2. Escenas del carnaval de Oruro



derramamiento de alcohol como agradecimiento a la Pachamama, la Madre Naturaleza, que se nutre de la Virgen María al igual que los cerros, "Apu", lo hacen de Cristo. Como relatara el periodista LUIS PANCORBO en uno de sus documentales, el brujo andino suele dirigirse a ella con esta plegaria: "Ahora te traigo esto por las llamas, acéptame, bonita, Santa Tierra Pachamama".

La "Challa" es probablemente de época republicana, porque la llama, durante el Imperio, fue protegida dado que suministraba importantes servicios. En efecto, el altiplano andino fue el centro de domesticación de animales característicos del biotipo puneño: la llama y la alpaca. Estas "ovejas de la tierra", como las llamaban los cronistas hispánicos, constituyeron elementos esenciales para la vida en altura. De ellas se aprovechó la lana para la confección de tejidos; su carne, para la alimentación, bien seca o deshidratada ("charki"); los excrementos como combustible ("takia") y, sobre todo, la utilización como animal para el transporte de cargas, tanto en las minas como en otras actividades.

Se aprovechaba todo de ella; hubiera sido difícil, como defiende CARLOS SERRANO (com. pers.) que fuera sacrificada. Entre los incas, cada "ayllu" o comunidad tenía grandes rebaños de llamas y en tiempos de guerra los abastecimientos militares viajaban a lomos de millares de estos camélidos. No es raro que este animal haya sido motivo recurrente en el arte de los diseños de sus textiles o en reproducciones en oro y plata.

A finales del siglo XVI el Cabildo de Potosí trata, al menos en cuatro ocasiones, el tema de la protección de las llamas, prohibiéndose matarlas. Su importancia viene reflejada en las palabras de JIMENEZ DE LA ESPADA, cuando señala que "el mitayo viene con sus mujeres, hijos y llamas". Asimismo, CARLOS SERRANO (com. pers.) aun recuerda cuándo empezaron, siendo niño, las cuadrillas de diablillos danzantes en Potosí. Esta tradición es originaria de esta ciudad, de donde ha pasado a Oruro, Norte de Chile y zonas próximas.

Durante la ceremonia, los mineros repiten loas de alabanza al Tío, agradecidos por la suerte con que les ha favorecido, y ofrendan a la Pachamama, madre divina que protege a sus hijos los mineros de los accidentes y desgracias. Este

ritual no puede ser realizado por cualquier persona. El elegido es el Yatiri, una especie de hechicero o chamán, curandero o brujo, al que se le reconocen virtudes especiales. Son personas que dicen ser capaces de comunicarse directamente con los dioses y de interpretar sus señales, que, luego, traducen a los demás hasta hacerlas comprensibles.

La sangre es un elemento capital en esta ceremonia como símbolo que es de la vida y reflejo de las antiguas tradiciones en honor de Inti, dios del Sol. Después de los conjuros y oraciones del Yatiri, su ayudante sacrifica a los animales elegidos, almacenando su sangre en cuencos que, tomados por los asistentes a la ceremonia, sirven para arrojarla contra el Tío en señal de súplica.

No extraña la tradición moderna de la Challa, el Tío y los diablillos. Hay un caso peculiar, descrito por ENRIQUE ROJAS (1997) en el 49 International Congress of Americanists: "Hacia el siglo XVII, los misioneros franciscanos introdujeron como parte de su estrategia evangelizadora, la tecnología para transformar el mineral de hierro en el territorio del grupo Campa Ashaninka. Este conocimiento fue conservado por especialistas de este grupo tras la rebelión de Juan Santos Atahualpa hasta el siglo XIX. La pérdida de esta tecnología por este grupo, durante la conquista de estos territorios por el estado republicano, constituye el punto de partida

para la construcción de toda una interpretación mítica sobre las relaciones de los Ashaninka con la sociedad nacional de nuestros días".

Las vísceras de los animales son vertidas a una hoguera, preparada asimismo por el Yatiri, y en cuyas llamas lee el futuro presagiado por Supay.

### El Huilancho

Desde la época preincaica, los rituales religiosos andinos tenían como centro el sacrificio de una llama. El culto estatal mantenía como referencia la adoración y veneración del Sol (Inti), considerado por los incas como su divinidad o huaca protectora. El término "huaca" era también empleado entre las etnias quechuas y aymaras.

Del carácter de los distintos rituales dependía la clase de las ofrendas, que generalmente se consumían en el fuego. El maíz, los tejidos y las llamas ocupaban un lugar preferente, junto con las hojas de coca y los metales preciosos.

Centenares de llamas eran sacrificadas para asperjar con su sangre las huacas que centraban estos rituales, quemando después su carne en honor de los dioses. La palabra aymara "angu caura" servía para designar a una llama ofrendada a los dioses o a una llama guisada para jefes étnicos visitantes. Sin embargo, tras la llegada de los conquis-



Figura 3. Preparación de la Challa





Figura 4. Quema de la ofrenda por el Yatiri.

tadores españoles, estos ritos fueron prohibidos por ser considerados actos paganos y comenzó a perseguirse a quienes los oficiaban.

Recientemente, se ha recuperado el espíritu de estas ceremonias. El Huilancho, como así se le denomina, suele hacerse coincidir con la celebración del carnaval. Durante el mismo, se rinde culto a la Pachamama por permitir extraer mineral de las entrañas de la Tierra. Se la recompensa con dulces, galletas con forma de animales y confites. Además se utiliza sebo de llama, un feto de este camélido y una llama de color blanco.

El blanco es el color de la pureza. Se llamaba "napa" a la llama macho -"paco"- de lana blanca. CRISTOBAL MOLINA (1574) se refiere a esto cuando describe las fiestas del solsticio de invierno, la época del Sol joven, en la estación seca: "Llevaban delante unas ovejas grandes -llamas y alpacas- del grandor de los carneros, dos de oro y dos de plata, puestas en los lomos unas camisetas coloradas a manera de gualdrapas. Llevábanlos en unas andas, lo cual hacían en memoria de los carneros que dicen salieron de Tambo con ellos. Los indios que los llevaban eran señores principales. Iban con muy ricos vestidos. Llamáse a estas ovejas de oro y plata corinapa y colquinapa".

Resulta cuanto menos curioso que en la ceremonia del Huilancho, se denomina "paco" al chamán encargado del ritual, quién sabe si en recuerdo de esas míticas y sagradas llamas blancas. De igual manera, "paco" era como se nombraba al mineral de plata de mayor ley.

El "paco", ayudado por dos personas, inicia el Huilancho quemando incienso y colocando las mejores hojas de coca en una mesa. Cuando llega la medianoche,

procede al sacrificio de la llama, tras practicarla un pequeño corte a la altura de la ingle e introduciendo la mano hasta arrancarla el corazón, deposita la víscera en la mesa y controla los minutos durante los que sigue latiendo. Este tiempo es interpretado como señal del futuro que aguarda a la mina.

Más tarde, la sangre se vierte en bolsas y, mezclada con vino, es esparcida por los tajos y labores para, de esta manera, saciar la sed de la mina. La ceremonia concluye enterrando a la llama en algún lugar de la explotación, siempre depositándola en dirección al punto de salida del Sol.

#### Las almas en pena

La muerte es una compañera inseparable del minero. La negrura de los socavones, el riesgo de que se produzca un accidente, todo parece confluir en el peligro que caracteriza a este duro trabajo. Quizá sea por esto que GREGORIO IRIARTE (1983) considera que son las "almas en pena lo que más conmueve, inquieta y aterra al minero andino. En el leve susurro de una corriente de aire, en el ruido de una piedra que se desprende o en el chasquido de las gotas de agua sobre la roca, reconoce a las almas que le llaman con insistencia".

Este temor casi reverencial por las almas de los compañeros muertos en la mina se entronca con tradiciones que se remontan al Imperio Inca, durante el cual los cadáveres eran objeto de una sincera veneración. A medida que transcurrían los años, estos cuerpos inertes, en algunos casos momificados, eran reconocidos como Malquis, y eran los encargados de velar por el bienestar de sus descendientes. Cuando los restos quedaban reducidos a polvo, pasaban a adorar el lugar del enterramiento, y sobre todo a las piedras, al río, al árbol o a cualquier objeto de la naturaleza que estuviera próximo. Eran los Achachilas o Protectores.

Quizá por ello los mineros andinos, herederos de estas tradiciones, sientan a sus compañeros muertos. Creen que si el fallecimiento llega a raíz de un accidente, la vida ha sido abortada antes de tiempo, y que las almas vagan errantes, desorientadas, sin saber todavía a qué mundo pertenecen. Para conjurar su dolor, suelen elevar cánticos y depositar flores y alimentos a esas almas tristes que no saben dónde están.

Sirva como ejemplo de lo expresado la conversación que A. LORENZO mantuvo con un minero boliviano: "ayer mismito hubo revuelta porque un compadre dijo que escuchó gritos y llantos. Ahí dentro pasan cosas tristes. Son los muertos de la noche de San Juan".

#### A MODO DE CONCLUSION

Como señalara SHERDRAKE (1994), "las mitologías de las minas están llenas de duendes, genios y gnomos, diminutos guardianes de los tesoros terrestres. Después, el mineral se llevaba al horno, que aceleraba su maduración por medio del calor; los hornos actuaban como matrices artificiales, y el fundidor y el forjador asumían los poderes gestadores y formativos de la Madre. En las sociedades antiguas, los forjadores y todos los que trabajaban el metal eran temidos y tenidos en alta estima; sus poderes eran considerados a la vez sagrados y demoniacos". En Perú son frecuentes los "mukis", seres diminutos de las minas.

El hombre se mueve entre fe y superstición, entre lo universal y lo local, entre el monoteísmo y el culto a deidades menores. En el encuentro de chamanes y curanderos, celebrado en las pirámides de Cochasqui (Ecuador) en julio de 1997, hemos podido observar cómo el pueblo andino en sus distintas variedades étnicas y sociales, combina cultura inca y tradición cristiana. No nos sorprende que ya a finales del siglo XVI, el arzobispo metropolitano de Lima San Toribio Alfonso Mogrovejo recorriese el Virreinato del Perú combatiendo la superstición.

En cualquier caso, el altiplano andino, al igual que la Europa medieval o el continente africano, ha sido escenario de toda una cohorte de seres salidos de la mitología, las leyendas o de la superstición, que, a la vera de las explotaciones mineras, han entretendido historias que aún moran en las vidas cotidianas de los lugareños.

#### REFERENCIAS

- \* ALCARAZ MASIAS, D. (1993). "Potosí colonial. Tradiciones y leyendas". Editora El Siglo. Potosí. Bolivia. 202 p.
- \* BOUSO, J.L. (1995). "Kori Kollo, Inkas Kutimun". Rocas y Minerales. Julio 1995. p. 67-82.



\* BRAVO, M<sup>a</sup>. C. "Los Señores de los Andes: Entre el Cauca y Potosí". Ed. Akal. Colección "Las Américas. Etnohistoria". 62 p.

\* BRIONES, D. (1996). "Huilaicho minero en Orcopampa". Minería. N<sup>o</sup> 238. p. 52-53.

\* DECKER-MOLINA, C. (1988). "Oruro. Carnaval del Diablo". GEO. N<sup>o</sup> 14. Marzo 1988. p. 61-70.

\* GAMBOA, F. X. (1761). "Comentario a las Ordenanzas de Minas dedicadas al Catholico Rey Nuestro Señor Don Carlos III". Cap. XXIV: "De los frecuentes hurtos de los trabajadores en las minas y de su castigo ...". p. 461-462. Imp. Joachim Ibarra. Madrid.

\* GUERRA, A. (1971). "El Carnaval de

Oruro". Artículo publicado en El Diario (10-II-1971).

\* IRIARTE, G. (1983). "Los mineros: sus luchas, frustraciones y esperanzas". Ediciones Puerta del Sol. La Paz, Bolivia. 298 p.

\* MOLINA, C. (1574). "Relación de las fábulas y ritos de los Incas". En "Crónicas de los Molina". Edición de F.A. Loayza. Lima (1943).

\* MONAST, S. (1967). "El Mundo Religioso de los Aymaras". Universidad de Ottawa. p. 20.

\* PAREDES, M. R. (1963). "Mitos, Supersticiones y Supervivencias Populares de Bolivia". Ed. Isla. La Paz, Bolivia. p. 106.

\* ROJAS, E. (1997). "Los ciclos míticos de Pachakama, Inka y Sacramentero como interpretación de los procesos de reemplazo tecnológico y subordinación económica surgidas de la colonización andina del territorio ashaninka". 49 International Congress of Americanist. Quito (Ecuador). 7-11 Julio de 1997.

\* SHELDRAKE, R. (1994). "El Renacimiento de la Naturaleza". Ed. Paidós. Barcelona. 264 p.

\* STERN, S. J. (1982). "Los pueblos indígenas del Perú y el desafío de la conquista española". Alianza Ed. Madrid. 358 p.

\* LORENZO, A. (1997). "Siglo XX, la mina de Patiño". En "Paisajes desde el tren". p. 45-54. Febrero 1997.

## LOS PRODUCTOS PETROLIFEROS EN HISPANOAMERICA: NOTICIAS ANTERIORES AL SIGLO XIX.

Por L. F. MAZADIEGO MARTINEZ (\*), O. PUCHE RIART (\*\*), J. F. LLAMAS BORRAJO (\*), y A. SANZ GONZALEZ (\*\*\*)

### INTRODUCCION

Las sustancias petrolíferas han sido conocidas desde tiempos muy antiguos. Las aplicaciones que de ellas se hicieron se orientaron en un principio hacia fines arquitectónicos, artesanales y medicinales. Fueron los denominados en Geoquímica *Indicios Superficiales* o *filtraciones* los que llamaron la atención de nuestros antepasados, sobre todo por su aspecto físico, ya fuera el color, el olor o el tacto.

Los Indicios Superficiales son las diferentes manifestaciones de propiedades químicas de gases, aguas, rocas y suelos que están relacionadas en su origen con depósitos petrolíferos cercanos, o que señalan condiciones favorables a la existencia de los mismos.

Suelen clasificarse en dos grandes grupos: a) *Indicios Directos*; b) *Indicios Indirectos*. Los primeros son los provocados por la presencia en gases, aguas, rocas o suelos de componentes dispersos del petróleo, ya sea como bitúmenes sólidos o líquidos, o como hidrocarburos gaseosos. Los Indicios Directos se denominan "*activos o vivos*" si los productos se renuevan constantemente como consecuencia de una circulación activa subterránea. De este tipo son las fuentes o manantiales de bitumen o gas, los volcanes de lodo, etc.

(\*) E. T. S. Ingenieros de Minas de Madrid.

(\*\*) E. T. S. Ingenieros de Minas de Madrid e I.N.H.I.G.E.O.

(\*\*\*) INGENIERIA 75

Se dice que los Indicios Directos son "*fósiles o muertos*" si no hay renovación permanente que compense las pérdidas por oxidación en superficie. Como ejemplo de estos indicios son de destacar las arenas asfálticas.

Por su parte, los Indicios Indirectos se subdividen en *Indicios Indirectos de tipo I* y de *tipo II*. Los del *tipo I* engloban las características de gases, aguas, suelos y rocas que aparecen como consecuencia de reacciones químicas de algunos

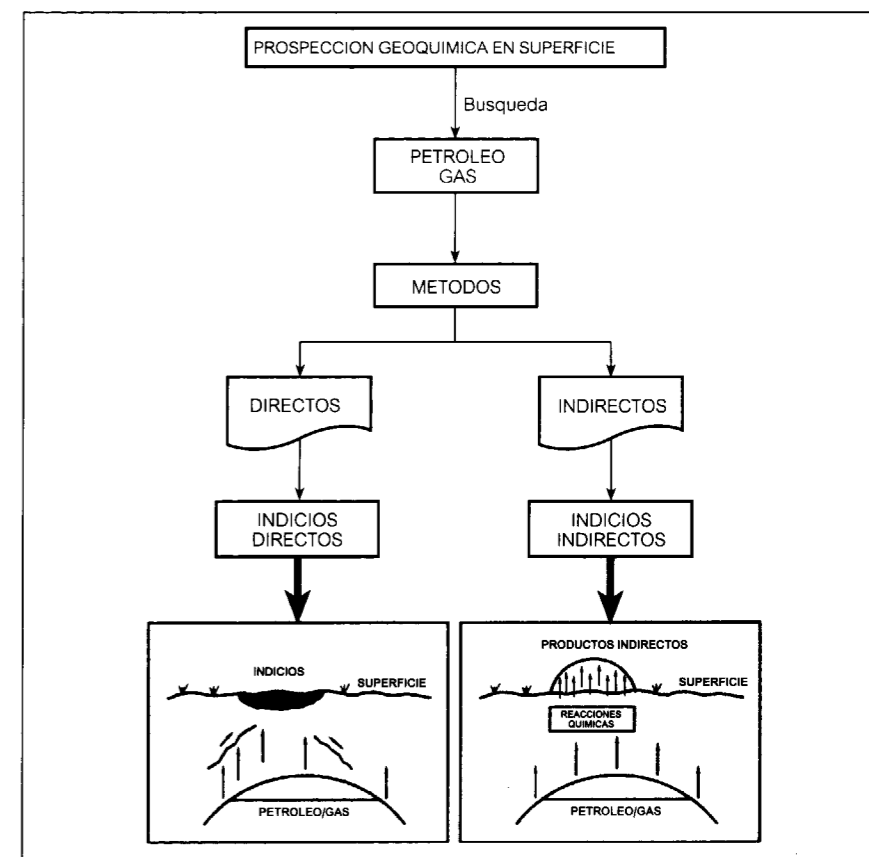


Figura 1. Indicios superficiales de hidrocarburos

constituyentes del petróleo con el medio en que se encuentran. Dentro de esta clase de Indicios Indirectos se sitúan la presencia de sulfuro de hidrógeno en algunos gases, o de sodio en las aguas.

Los del *tipo II* son aquellas características de aguas y gases que expresan condiciones favorables para la existencia de depósitos sin que se detecten éstos de manera directa. Un ejemplo pudiera ser la detección de cloruro de calcio en las aguas.

En cualquiera de los dos tipos, el mecanismo es común: los hidrocarburos, preferentemente los de menor peso molecular, escapan de las trampas y, a favor de fracturas, fallas o fisuras interconectadas, migran hasta alcanzar los niveles superficiales. Es entonces cuando estos hidrocarburos llegan a la superficie (Indicios Directos: emanaciones de gases, lagos de asfalto, etc.) e interactúan con el ambiente circundante (Indicios Indirectos: condiciones reductoras, precipitación de Carbonatos de Disociación Térmica Prematura o de Duchscherer, exhalaciones de gas radón o de helio, etc.).

Es importante señalar que cuando se citan los indicios superficiales en el campo de la Historia del Petróleo sólo se están considerando aquéllos que responden a filtraciones de hidrocarburos (Indicios Directos) y no a productos asociados a ellos (Indicios Indirectos), válidos en las actuales campañas de prospección pero que pasaron desapercibidos en el pasado.

Aunque no tan abundantes como las que se refieren a los actuales Irán e Irak - la Mesopotamia de los ríos Tigris y Eufrates - o a las costas del mar Caspio y las ciudades de Bakú y Astracán, también pueden citarse noticias de hallazgos de localizaciones petrolíferas en el continente americano. La mayoría proceden de los europeos que arribaron a ese continente y que, igual que sucediera en otras partes del planeta, quedaron asombrados por sus numerosas aplicaciones. Ya no tuvieron que recurrir a la intuición para decidir su uso, puesto que conocían las virtudes de los compuestos orgánicos a través de las obras de los clásicos. Sin embargo, tuvieron la fortuna de encontrarse con pueblos indígenas, autóctonos de la región que habían descubierto, que, lejos de la cultura y atraso con que los enjuiciaban, ya sabían utilizar el asfalto y otros

productos similares de manera parecida a lo que hicieron las civilizaciones mesopotámicas.

El licenciado en medicina JUAN DE CARDENAS (1563 - ...), que viajó hasta el continente americano y dedicó gran parte de su vida al estudio de la naturaleza del Nuevo Mundo, escribió, en el capítulo III, libro I, de su obra *"Problemas y Secretos Maravillosos de las Indias"* (1591) esta curiosa descripción: *"Otras, por ser gruesas, viscosas y azeitosas, y juntamente calientes, se convierten en calientes y azeitosos minerales, como lo es el betún y el afluere cuando se derrite; otros así mismo por ser calidísimas, gruesas y terrestres, se convierten en calidísimos y terrestres minerales"*. En este texto, CARDENAS se explaya en comparar el bitumen encontrado en ese continente con el que procedía de otros rincones del planeta: *"Cosa es notoria y sabida la que cuenta Galeno del lago llamado por otro nombre el Mar Muerto de Gomorra, el cual tiene tal propiedad que jamás cosa biva que echassen en él se fue a lo fondo; y así dizen que, si un hombre se arroja a nadar en esse lago, aunque en su vida aya otra vez entrado en el agua, anda sobre ella como un corcho, sin poderse hundir; pero esto va fundado en razón, y es que aquel agua, por la mucha sal que tiene, es tan por extremo gruesa y pesada, que cualquier cosa biva que la hechen dentro le es liviana para poderla sustentar sobre sí, que podemos dezir ser como el azogue, cuya gravedad y peso es tanto que aunque le hechen dentro pelotas de plomo, es imposible hundirse en él"*, para añadir poco después, refiriéndose a los descubrimientos realizados en América que *"no se puede negar que hay admirables y peregrinas fuentes, cuyas aguas tienen en sí admirables afectos, entre las cuales podemos contar las medicinales fuentes, que los médicos suelen llamar sulphúreas bituminosas, aluminosas y otras desta jaez"*. En el capítulo XVII, expone que *"la materia que por tantos años ceva y sustenta el fuego de los volcanes sin falta es el afluere y el asfalto o betún (que también es mineral que de suyo arde)"* construyendo así una teoría sobre el origen de las erupciones volcánicas que vinculaba al betún, y que tuvo cierta aprobación en la Europa de los dos siglos siguientes. Por último, en el capítulo XVIII, libro I, describe lo que debían ser emanaciones gaseosas: *"Hay una fuente llamada Epiro que si meten una candela apagada dentro se*

*enciende, y, si va encendida se apagará (...). Con el agua de aquella fuente vienen mezclada alguna parte de fuego"*, que recuerda casi palabra por palabra al comentario escrito tanto por Diodoro Sículo como por Plutarco al referirse a otra fuente parecida, mezcla de fugas de hidrocarburos y gases de actividad volcánica, sita en el legendario oráculo egipcio de Sivah, aquél al que acudió Alejandro Magno antes de iniciar su campaña contra el rey persa Darío. En otro párrafo vuelve a describir una fuente o emanación de hidrocarburos: *"Lo segundo que quiero que por muy cierto presupongamos es que aquel calor, con que el afluere o asfalto calienta el agua, no entendamos que otro cuerpo se lo comunica al afluere, porque si otro cuerpo caliente se lo diera y comunicara, también se lo diera el agua y así fuera bien impertinente, para aver de calentar el agua, calentar primero el afluere"*.

También GONZALO FERNANDEZ DE OVIEDO (1478-1557) en el Libro XIX, capítulo II de su *"Historia General de las Indias"*, cuando describe la isla de Cabagua, dice: *"Tiene la punta del oeste una fuente ó manadero de un licor, como azeite, junto a la mar, en tan manera abundante que corre aquel betún o licor por encima del agua del mar, haciendo señal más de dos y tres leguas de la isla, e aún da olor de sí este azeite. Algunos de los que lo han visto dicen ser llamado por los naturales "stercus demonis" é otros lo llaman "petrolio", é otros "asfalto", y los que este postrero dictado le dan, es queriendo decir que este licor del género de aquel lago Asphaltide, en quien en conformidad muchos autores describen. Aqueste licor de Cabagua hallan que es utilissimo en muchas cosas é para diversas enfermedades, é de España lo envía á pedir con mucha instancia por la experiencia que desto se tiene por los médicos, é personas que lo han experimentado, a cuya relación me remito"*.

Según comenta MAESTRO DE LEON en su libro *"El Petróleo en el mundo moderno"* (1944), el petróleo y el asfalto se conocen en América desde hace siglos. Las tribus y pueblos precolombinos, los aztecas de Méjico y los mayas del Yucatán los emplearon en la construcción de sus colosales templos y en las edificaciones de sus urbes, sobre todo en aquellos lugares cercanos a acumulaciones de tales sustancias. Si bien el uso en arquitectura es bastante

menor que el que se hizo en Babilonia, dicho autor cita ejemplos de tal empleo en las regiones lindantes con el lago Titicaca, que, hasta hace pocos años, fueron objeto de investigación por la compañía PetrolPerú. Se acepta que la cultura Tiahuanaco alcanzó cierta pericia en la elaboración de emplastos hechos a base de hierbas y betún. Además, intuyendo el carácter reductor que definen las zonas enriquecidas en este tipo de productos orgánicos, acostumbraban enterrar sus herramientas en suelos embebidos en asfalto para protegerlas de la oxidación.

Fue por el contrario muy usado a modo de combustible en sus antorchas. Se mezclaba la pez y el asfalto con polvos aromáticos, y servía como incienso que era arrojado al fuego en las ceremonias religiosas. De esta manera, actuaba como agente de la combustión y, a la vez, contribuía a crear el ambiente propicio en los rituales.

En la costa norte del Perú puede visitarse el yacimiento de La Brea, que ya fuera beneficiado en tiempos del Imperio Inca. La prueba está testimoniada por los huacos, ollas y otros objetos de artesanía que, entre otras instituciones, muestra el Museo de Arqueología de Lima, y en los que se aprecian los restos del barniz bituminoso con que los cubrían para hacerlos más impermeables. Una vez se agotaron los indicios superficiales, los incas practicaron pozos para extraer la brea. Debieron hallar petróleo líquido, que concentraron mediante el cocimiento en grandes "pailas", cuyos restos todavía se pueden contemplar. En 1912, la empresa de Negritos, concesionaria del yacimiento, todavía utilizaba este procedimiento, tal como expone DEUSTUA en *"Estado actual y porvenir de la Industria Petrolera en el Perú"* (1912).

Al Oeste de Argentina, en la provincia de Mendoza, según señala MOSCONI (1926), *"mucho antes de la Conquista se llevaba a Chile, por El Planchón, petróleo y asfaltos bituminosos, que servían de base a un gran comercio"*. Quizá estas transacciones estaban destinadas al abastecimiento de estas sustancias para la celebración de los actos religiosos. El petróleo y productos asociados se beneficiaban en lo que hoy es un importante yacimiento argentino, ubicado en torno a la ciudad de Mendoza, donde destaca el yacimiento denominado Cerro Alquitrán.

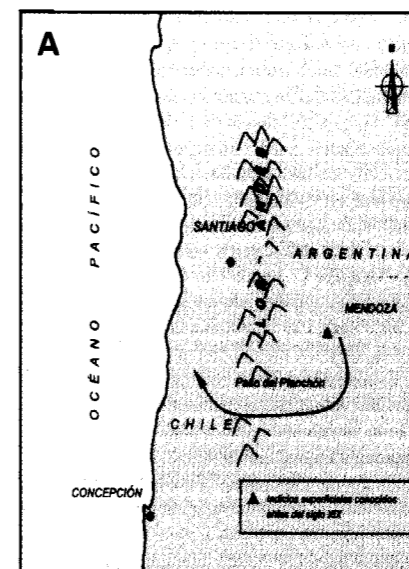


Figura 2. a) Itinerario comercial del petróleo de Mendoza hacia Chile; b) pozos de petróleo en Mendoza (Argentina)



## LA ISLA DE CUBA

Se piensa que el primer descubrimiento de indicios superficiales en América que fue contado por europeos es el del lago asfáltico de Puerto Príncipe (Cuba). La actual ciudad de La Habana era llamada Carene, ya que era allí a donde se dirigían los buques para ser carenados, esto es, reparados con asfalto. BERNAL DIAZ DEL CASTILLO (1492 - 1580) escribió a este respecto en el capítulo VI de su *"Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España"* (1575) que *"hasta que nuestro Señor Jesucristo nos llevó a puerto Carenas, donde ahora está poblada la villa de La Habana"*. Incluso, en otra parte de este texto, concretamente en el capítulo XIX, explica que *"el gobernador Diego Velázquez ordenaba de enviar otra armada muy mayor que las de antes, y para ello tenían ya diez navíos en el puerto de Santiago de Cuba; los cuatro dellos eran en los que volvimos cuando lo de Juan de Grijalva, porque luego les hizo dar carena y adobar"*. Unas líneas antes, en el capítulo XIV, vuelve a incidir en el uso del asfalto cubano para el calafateado de los buques: *"Acordamos que fuese el capitán Pedro de Alvarado en un navío que se decía San Sebastián, porque hacía agua, aunque no mucha, porque en la isla de Cuba se diese carena"*. Bien es

sabido que este tipo de sustancias orgánicas han sido empleadas desde el año 2.000 a. C. para dar estanqueidad a las embarcaciones y protegerlas de posibles roturas y entradas de agua.

La primera referencia a esta zona y tal vez de toda América, hay que atribuirse a GONZALO FERNANDEZ DE OVIEDO Y VALDES (1478-1557) que explicó en su *"Sumario de la Natural y General Historia de las Indias"* (1526) que *"era usado para embadurnar el casco de los buques"* y, así, protegerlo de roturas y posibles entradas de agua. FERNANDEZ DE OVIEDO, considerado por muchos historiadores como el primer cronista de las Indias, decidió poner por escrito las injustas condiciones de vida que soportaban, tanto los indígenas como los españoles, debido a la crueldad de los gobernadores. En uno de los capítulos, dedicado a Cuba, puede leerse que *"en la dicha isla, y no muy desviado de la mar, sale de una montaña un licor o betún a manera de pez o brea, y muy suficiente y tal cual conviene para brear los navíos; de la cual materia, entrada en la mar continuamente mucha copia de ella, se andan sobre el agua grandes balsas o manchas, o cantidades encima de las ondas, de unas partes o otras, según las muevan los vientos, o como se menean*



menor que el que se hizo en Babilonia, dicho autor cita ejemplos de tal empleo en las regiones lindantes con el lago Titicaca, que, hasta hace pocos años, fueron objeto de investigación por la compañía PetrolPerú. Se acepta que la cultura Tiahuanaco alcanzó cierta pericia en la elaboración de emplastos hechos a base de hierbas y betún. Además, intuendo el carácter reductor que definen las zonas enriquecidas en este tipo de productos orgánicos, acostumbraban enterrar sus herramientas en suelos embebidos en asfalto para protegerlas de la oxidación.

Fue por el contrario muy usado a modo de combustible en sus antorchas. Se mezclaba la pez y el asfalto con polvos aromáticos, y servía como incienso que era arrojado al fuego en las ceremonias religiosas. De esta manera, actuaba como agente de la combustión y, a la vez, contribuía a crear el ambiente propicio en los rituales.

En la costa norte del Perú puede visitarse el yacimiento de La Brea, que ya fuera beneficiado en tiempos del Imperio Inca. La prueba está testimoniada por los huacos, ollas y otros objetos de artesanía que, entre otras instituciones, muestra el Museo de Arqueología de Lima, y en los que se aprecian los restos del barniz bituminoso con que los cubrían para hacerlos más impermeables. Una vez se agotaron los indicios superficiales, los incas practicaron pozos para extraer la brea. Debieron hallar petróleo líquido, que concentraron mediante el cocimiento en grandes "pailas", cuyos restos todavía se pueden contemplar. En 1912, la empresa de Negritos, concesionaria del yacimiento, todavía utilizaba este procedimiento, tal como expone DEUSTUA en "Estado actual y porvenir de la Industria Petrolera en el Perú" (1912).

Al Oeste de Argentina, en la provincia de Mendoza, según señala MOSCONI (1926), "mucho antes de la Conquista se llevaba a Chile, por El Planchón, petróleo y asfaltos bituminosos, que servían de base a un gran comercio". Quizá estas transacciones estaban destinadas al abastecimiento de estas sustancias para la celebración de los actos religiosos. El petróleo y productos asociados se beneficiaban en lo que hoy es un importante yacimiento argentino, ubicado en torno a la ciudad de Mendoza, donde destaca el yacimiento denominado Cerro Alquitrán.

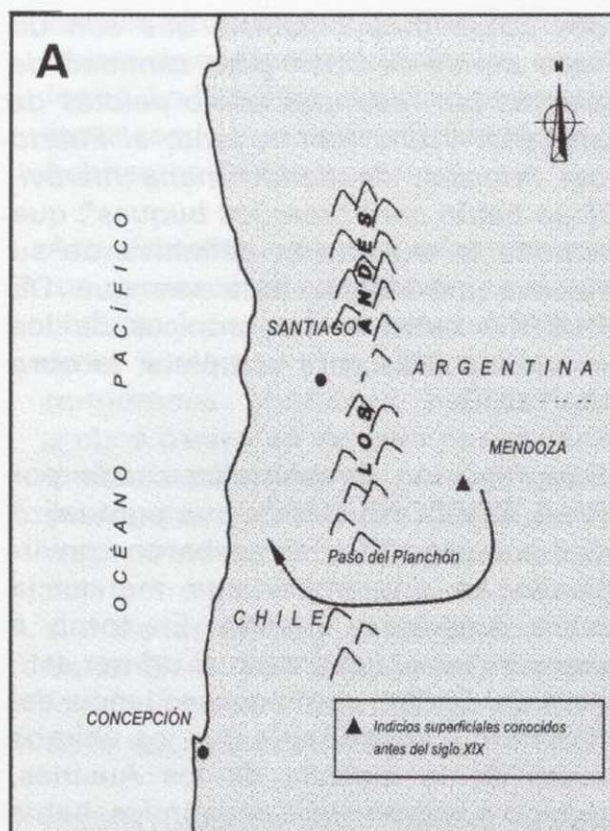
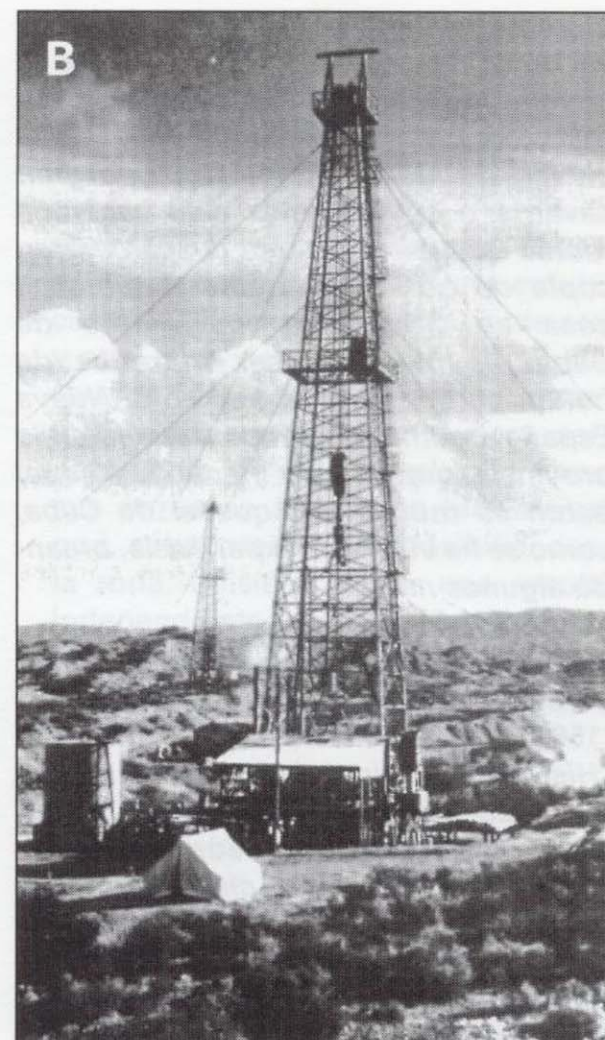


Figura 2. a) Itinerario comercial del petróleo de Mendoza hacia Chile; b) pozos de petróleo en Mendoza (Argentina)



#### LA ISLA DE CUBA

Se piensa que el primer descubrimiento de indicios superficiales en América que fue contado por europeos es el del lago asfáltico de Puerto Príncipe (Cuba). La actual ciudad de La Habana era llamada Carene, ya que era allí a donde se dirigían los buques para ser carenados, esto es, reparados con asfalto. BERNAL DIAZ DEL CASTILLO (1492 - 1580) escribió a este respecto en el capítulo VI de su "Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España" (1575) que "hasta que nuestro Señor Jesucristo nos llevó a puerto Carenas, donde ahora está poblada la villa de La Habana". Incluso, en otra parte de este texto, concretamente en el capítulo XIX, explica que "el gobernador Diego Velázquez ordenaba de enviar otra armada muy mayor que las de antes, y para ello tenían ya diez navíos en el puerto de Santiago de Cuba; los cuatro dellos eran en los que volvimos cuando lo de Juan de Grijalva, porque luego les hizo dar carena y adobar". Unas líneas antes, en el capítulo XIV, vuelve a incidir en el uso del asfalto cubano para el calafateado de los buques: "Acordamos que fuese el capitán Pedro de Alvarado en un navío que se decía San Sebastián, porque hacía agua, aunque no mucha, porque en la isla de Cuba se diese carena". Bien es

sabido que este tipo de sustancias orgánicas han sido empleadas desde el año 2.000 a. C. para dar estanqueidad a las embarcaciones y protegerlas de posibles roturas y entradas de agua.

La primera referencia a esta zona y tal vez de toda América, hay que atribuirse a GONZALO FERNANDEZ DE OVIEDO Y VALDES (1478-1557) que explicó en su "Sumario de la Natural y General Historia de las Indias" (1526) que "era usado para embadurnar el casco de los buques" y, así, protegerlo de roturas y posibles entradas de agua. FERNANDEZ DE OVIEDO, considerado por muchos historiadores como el primer cronista de las Indias, decidió poner por escrito las injustas condiciones de vida que soportaban, tanto los indígenas como los españoles, debido a la crueldad de los gobernadores. En uno de los capítulos, dedicado a Cuba, puede leerse que "en la dicha isla, y no muy desviado de la mar, sale de una montaña un licor o betún a manera de pez o brea, y muy suficiente y tal cual conviene para brear los navíos; de la cual materia, entrada en la mar continuamente mucha copia de ella, se andan sobre el agua grandes balsas o manchas, o cantidades encima de las ondas, de unas partes o otras, según las muevan los vientos, o como se menean



y corren las aguas de la mar de aquella costa donde este betún o materia que es dicha anda. Quinto Curcio, en su libro quinto, dice que Alejandro allegó a la ciudad de Memi, donde hay una gran caverna o cueva, en la cual está una fuente que mirabilmente desparce gran copia de betún, de manera que fácil cosa es creer que los muros de Babilonia pudieron ser murados de betún, porque otro tal hay en la Nueva España, que ha muy poco se halló en la provincia que llaman Pánuco, el cual betún es muy mejor que el de Cuba, como se ha visto por experiencia, breando algunos navíos".

Años después, también lo describiría el médico sevillano NICOLAS MONARDES (1565) en un extenso tratado de título "Historia Medicinal de las cosas que se traen de nuestras Indias Occidentales" (1565). En este texto puede leerse que "el bitumen es una clase de brea. Abundan en la isla de Cuba ciertas fuentes, situadas cerca del mar, que dan bitumen de color negro y con un fuerte olor. Los indios lo usan para fines medicinales, mientras que nuestros hombres se sirven de él para calafatear los barcos (...) Mi opinión es que es nafta, de la que ya hablaron escritores como Posidonio, que se refirió a las fuentes de Babilonia, y que era blanca y negra".

En la edición de la "Historia Natural" de PLINIO (23 - 79 a. C.) prologada por el licenciado GERONIMO DE HUERTA (1629), éste anota un comentario sobre la isla de Cuba: "Tiene la isla de Cuba

dos cosas muy notables, que son un valle donde se crían gran cantidad de piedras tan redondas como pelotas de artillería, y una fuente, junto al Puerto del Príncipe, de donde mana maravilloso betún para brear los buques", que supone la aceptación definitiva de su riqueza petrolífera, toda vez que DE HUERTA bebe de las crónicas de los conquistadores para completar la obra de PLINIO.

Esta filtración también fue citada por PAUL BOCCONE (1697), que puntualizó que sus productos se acabaron convirtiendo en una importante mercancía entre América y Europa. En torno a estos indicios, fue creado el primer astillero del Caribe, como consecuencia del deterioro y abandono a que los últimos reyes de la dinastía de los Austrias, debido a la gran crisis económica, había condenado a la marina española lo cual amenazaba la buena marcha del comercio con América. La decisión fue tomada por el rey Felipe V en el año 1725.

#### EL IMPERIO INCA

El segundo grupo de indicios registrados por los españoles fue localizado en el antiguo Imperio Inca, en los actuales estados de Perú y Ecuador. El ya citado MONARDES, al referirse a los mismos, describe un método que bien pudiera tratarse de la destilación por descenso: "En la región del Collao -región del lago Titicaca habitada por los aymaras- hay una provincia en lo que no crecen cual-

quier tipo de árbol y plantas, ya que la tierra está embebida de resinas. Estas resinas las utilizan los indios para fabricar una especie de licor que sana multitud de enfermedades. Para producirlo, hacen unos grandes agujeros en el suelo donde colocan madera y recipientes, que recogen el líquido originado de la goma tras calentarla con fuego. Cuando esto sucede se levanta un humo negro acompañado de un olor desagradable. El licor lo destinan para curar dolencias, preferentemente aquellas debidas a resfriados y a contusiones".

Más frecuentes son las referencias a las filtraciones de la zona colindante a los actuales campos petrolíferos de Lobitos. Fueron mencionadas por primera vez por AGUSTIN DE ZARATE en "Historia del descubrimiento y conquista del Perú" (1555), obra escrita tras su viaje por el Virreinato del Perú entre los años 1544 y 1551: "En un cabo o punta, llamado Santa Elena por los españoles -perteneciente al departamento ecuatoriano de Guayaquil- hay una emanación de pez o alquitrán que les sirve para arreglar sus barcos". A estos productos petrolíferos, los incas dieron en nombrarlos con la voz "mene".

El padre JOSE DE ACOSTA, que asimismo recorrió el Virreinato peruano entre el año 1569 y el 1583, escribió en "Historia Natural y Moral de las Indias" (1590) que "en un lugar del cabo de Santa Elena hay una fuente de brea, a la que en Perú denominan copey, y que los marineros utilizan para embrear sus sogas y sus jarcias". En realidad, la voz "copey" no estaba muy extendida en Perú, como aseguraba DE ACOSTA, sino que procede de la lengua taína, original del Noroeste del Brasil, que se desmembró en numerosos dialectos centralizados en el alto Orinoco.

GARCIA TAPIA en su libro "Del Dios del Fuego a la máquina de vapor" (1992) afirma que "en la punta de Santa Elena los indígenas sacaban el asfalto de pozos naturales y luego lo hervían en ollas de barro para darle mayor untuosidad. Con este producto se untaban para protegerse del frío los que se sumergían en el agua".

GERONIMO DE HUERTA comenta que "hay dos fuentes, una en la isla del Lobo, cerca de Lima, que es un betún llamado copal -denominación probablemente errónea o mal transcrita, ya que debió confundirla con la planta así llamada en Méjico y que se adicionaba al betún-, y

otra en la Punta de Santa Elena, con la que se calafatean los navíos".

A cuenta de estos indicios, se gestó una curiosa leyenda, atribuida en un principio a CIEZA DE LEON (1520-1560), que aseguraba haber visto huesos de tamaño gigantesco, que debían corresponder a animales prehistóricos extinguidos, tal como relata en "Descubrimiento y conquista del Perú" (1541). Los nativos justificaban estos restos óseos a partir de una tradición que se centraba en la llegada al lugar de unos hombres que "tenían tanto uno de ellos de la rodilla abajo como un hombre de los comunes en todo el cuerpo". Contaban que eran malvados y crueles. Su comportamiento violento desencadenó la ira de Dios, que les destruyó lanzándoles fuego hasta abrasarlos. Los postreros rescoldos aún se pueden ver en ciertos puntos de la zona, decían, identificándolos con las filtraciones de hidrocarburos.

En la misma línea, LEON PINELO, en su obra "El Paraíso en el Nuevo Mundo" (1655), aportó abundantes testimonios sobre restos de gigantes, a los que consideraba anteriores al Diluvio Universal, y de los que escribe que "en la punta de Santa Elena salen los huesos con el betún de lo profundo de la Tierra, donde quedarían enterrados y cubiertos de montes".

En 1700, el padre JUAN DE VELASCO volvería a citar el cabo de Santa Elena en "La Historia del Reino de Quito" (1789): "Ellos -los indígenas- mezclan con caliza un tipo de bitumen del que escribiera Gomara en el párrafo 194 de su Historia General. Esta maravillosa mezcla es uno de los muchos secretos y conocimientos de los indios que hemos perdido debido al descuido de los primeros conquistadores. La utilizan para unir las piedras fuertemente entre sí, al modo en que con pegamento se unen dos trozos de madera. Los europeos, tras observar que las piedras estaban separadas por una fina capa de caliza de una o dos pulgadas de espesor, se asombraron al comprobar que era más fácil romper a golpes los bloques de piedra que separarlas". Este empleo permitía engarzar los bloques de piedra con una mezcla cementada de bitumen y distintos minerales, que hacía las veces de argamasa.

No se sabe a ciencia cierta dónde observó DE VELASCO esta particular

masilla bituminosa inca, que, incluso, es objeto de controversia entre los arqueólogos. Lo llamativo del caso es la semejanza con la que fuera empleada por los habitantes de Mesopotamia.

Actualmente, los principales yacimientos peruanos se concentran en la costa lindante con la frontera con Ecuador, entre Tumbes y el río Chira, fuente de numerosos conflictos bélicos entre ambos países en su afán por situar los límites territoriales de manera que los principales yacimientos caigan en sus respectivos dominios. También se beneficia petróleo en lo que es la prolongación de las concesiones ecuatorianas de Santa Elena. Los campos más ricos son los de Lobitos y Negritos, ya conocidos en la época precolombina.

Frente a estos yacimientos, la brisa marina trae periódicamente un fuerte olor a gasolina debido a desprendimientos de gas que se producen en alta mar. Filtraciones gaseosas parecidas son frecuentes en tierra firme.

#### EL LAGO DE ASFALTO DE TRINIDAD Y LAS ANTILLAS

El tercer grupo de indicios se concentra en el lago de asfalto de Trinidad. No se tienen documentos que certifiquen cuándo fue vislumbrado por primera vez, siendo necesario remontarse hasta el año 1595 para encontrar la primera prueba escrita. En febrero de ese año, Sir WALTER RALEYGH abandonó Inglaterra, después de culminar un viaje anterior a Norteamérica, con el objetivo de buscar y encontrar el mítico Eldorado. Fue entonces cuando arribó el 22 de marzo de ese año en San José de Oruña, capital de Trinidad, visitando un lugar llamado Parico "donde abunda una sustancia que los nativos conocen como piche y a la que los españoles llaman tierra de brea. Hay tal cantidad de esta brea que los buques de todo el mundo que llegan a esta zona se sirven de ella. Hicimos experimentos para garantizar que su empleo era válido para arreglar los barcos, siendo excelentes los resultados, más si cabe porque esta brea no se funde con el calor del sol como acontece con la que se extrae en Noruega", para añadir que "asombra una superficie desnuda, lisa pero negra como el betún".

El lago ocupa una superficie de medio kilómetro cuadrado y alcanza en profun-

dididad casi los cincuenta metros en algunos puntos. Está alimentado de manera casi continua por emanaciones subterráneas. Se ha desbordado en ciertas ocasiones, originando coladas de asfalto que han llegado a más de cien metros. En realidad, no está formado sólo por betún, sino por una emulsión con el 40 % de betún, un 30 % de arcilla y otro 30 % de agua. La riqueza petrolífera de Maracaibo fue protagonista de una historia que bien pudiera ser el argumento de una novela. En torno a sus pozos se agruparon terratenientes que, sabedores de las posibilidades de la zona, quisieron crear una república independiente, a la que denominaron Zulia, que querían se extendiera desde el lago hasta la comarca colombiana de Catatumbo.

El otro gran lago de asfalto venezolano, conocido como Lago Bermúdez, se encuentra en la otra orilla del golfo del Paria y, aunque mayor en longitud -unos cuatro kilómetros y medio- que el de Maracaibo, es menos profundo -unos dos metros-.

HUMBOLDT (1769 - 1859) también cita estos indicios en una carta que dirigió al Barón de Forell, ministro de Sajonia en

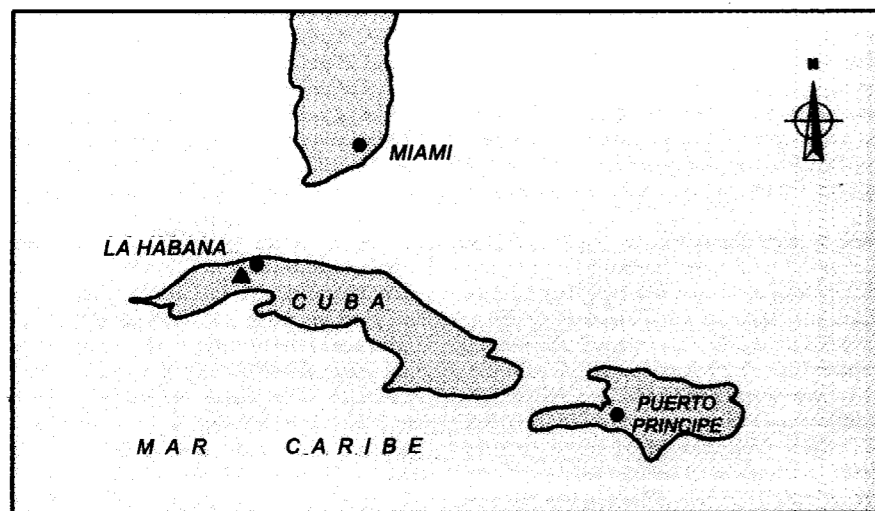


Figura 3. Indicios en la isla de Cuba

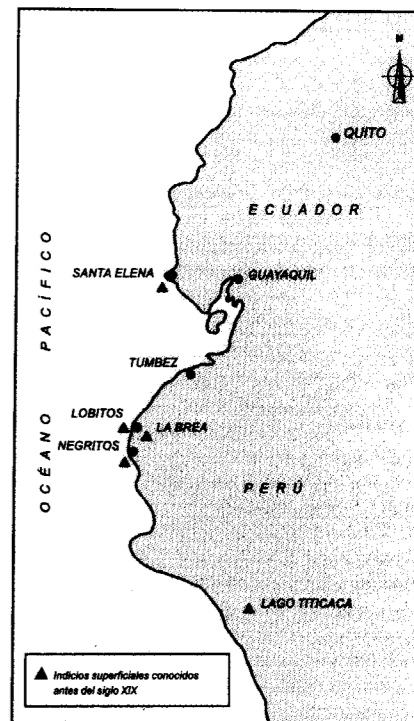


Figura 4. Indicios en el antiguo Imperio Inca



la Corte de Madrid y que aparece fechada en el año 1800: "Esta arcilla muriática, muy rica en el Popoyán y Quito, es tan pobre en sal nativa en las provincias del Este (Nueva Barcelona, Nueva Andalucía), que apenas se percibe en el microscopio. Contiene más del 0,3 % de petróleo, y es el origen de brea en la Trinidad, en el Buen Pastor sobre la costa de Paria, y en el mismo golfo de Carraca, golfo formado, según la tradición geológica de los indios Guaiguerys, por un temblor de tierra, y que parece hallarse todavía en comunicación con los volcanes de Cumucata, que vomitan azufre, gas hidrógeno y aguas calientes hidrosulfurosas".

PERCY SPIELMAN (1938) defiende que los indios caribeños ya conocían las propiedades de este asfalto, y que, quizá, sabedores de sus virtudes, intentaron, esta vez con éxito, ocultar el lago a los españoles, temerosos de que pudieran arrebatárles el derecho a extraerlo. Incluso pudiera ser que ni el propio RALEYGH ni su primo ROBERT DUDLEY, a los que en la literatura anglosajona se les atribuye el descubrimiento, llegaron jamás a visitarlo. Acaso vieron asfalto que era arrastrado por las aguas y que

se acumulaba en determinados puntos de la costa. SPIELMAN es de la opinión que no fue hasta que DE LERY llegó en 1786 a estas tierras cuando un extranjero contempló el lago.

Unos años más tarde, ANDERSON (1789) escribió una carta en la que afirmaba que "el lago resuelve cualquier contratiempo que pudiera afectar a los buques". Describe las aureolas que se forman en la superficie de las aguas y demuestra que a sólo un pie de profundidad, el asfalto es mucho más aceitoso, añadiendo que "es parecido al clasificado como Bitumen Asphaltum Linnaei. Es el más útil para preservar los cascos contra la plaga del teredo, tan destructiva para los barcos en estas latitudes". Los teredos son unos moluscos marinos, pertenecientes al orden eulamelibranquios de la clase bivalvos. Una de las especies principales es el "Teredo norvegica", cuyo cuerpo, vermiforme y casi transparente, está protegido en la parte cefálica por una diminuta concha oblicua, compuesta por dos valvas de unos 8 mm de longitud. En su estado de larva, el teredo se fija en cualquier objeto de madera sumergido; después, mediante movimientos alternativos del

pie, utiliza las valvas para excavar en la madera galerías de hasta 30 cm, que luego recubre de una delgada capa calcárea. Probablemente, ANDERSON se refería a la variedad "Teredo navalis", que vive en las aguas costeras de las zonas templadas del Atlántico, el Pacífico y mares adyacentes.

El doctor NICOLAS NUGENT (1807) aseguraba que había escuchado relatos según los cuales "los españoles se encargaron de preparar la brea con propósitos comerciales. Incurrieron en la imprudencia de situar las calderas sobre el lago, hundiéndose en el curso de una noche, así que fracasaron en sus objetivos". El almirante THOMAS COCHANE, décimo Conde de Dundonald (1775 - 1860) examinó el lago en 1848, patentando diversos productos entre 1851 y 1853 a partir del asfalto que extrajo, tanto para producir aromatizadores como para aceite de lámparas.

Estas manifestaciones de petróleo también acaecían en las aguas marítimas de la costa venezolana, sobre todo en la boca de entrada del lago Maracaibo. Las irisaciones formadas en la superficie del mar eran empujadas por los vientos y se reunían en las costas, originándose productos oscuros, viscosos, que eran denominados "caca de ballena" por los nativos, tal y como expone GUILLEMOT en su libro "Geología del Petróleo" (1982).

Otros indicios petrolíferos en el mar que fueron observados por los indígenas y los viajeros europeos son los del golfo de Chichiriviche, descritos por el antes citado GUILLEMOT, que aún hoy en día son visibles. Se trata de ciénagas de manglares cubiertas por arcillas lagunares. Durante los meses de otoño, cuando cesan los vientos dominantes del Este y son sustituidos por los del Norte, se produce un cambio del sentido de las corrientes costeras en la bahía, que trae como consecuencia un desplazamiento de las arenas hacia otros puntos de la costa. De esta manera, grandes cantidades de gas de los pantanos, libres del peso de los sedimentos, migran a través de las fracturas hasta llegar a la superficie y provocar un efecto de enturbiamiento de las aguas similar al que se observa en el mar Muerto y que hiciera pensar a los autores clásicos que sus aguas hervían.

GRIFFITH HUGHES en su "Natural History of the Island of Barbados"

(1750), refiriéndose a los crudos de dicha isla de las Antillas, escribió que "se encuentra una exudación bituminosa en las colinas de St. Andrews y St. Joseph, que es de un negro sucio, tendente al gris. El método por el que se abastecen de él consiste en practicar un agujero o una fosa en un punto cercano a desde donde se filtra: se concentra por gravedad, obteniéndose una película estrecha, o crema, de este líquido de bitumen que se destila a la superficie. Es entonces cuando, una vez extraído, se acumula en vasijas. La estación más idónea para sacarlo son los meses de enero, febrero y marzo. Es tan inflamable que se utiliza en lámparas. Tiene excelentes propiedades medicinales, siendo usado con gran éxito en desórdenes de parálisis y nerviosas, así como para curar erupciones cutáneas. Incluso sirve para verterlo sobre los caballos cuando están extenuados. Este bitumen, y otro más negro que se halla en St. Joseph, son los más frecuentes de localizar en la isla. Hay otros tipos, uno de ellos de carácter sólido, que llaman Munjack o Manjak. Se beneficia de estratos a diferentes profundidades en las laderas de las colinas de St. Andrews y St. John. El reverendo MAUNDREL lo compara con el existente en el mar Muerto y que influyó en la destrucción de las ciudades de Sodoma y Gomorra. En gran medida puede compararse con el carbón. Cuando los tipos líquidos de bitumen son extraídos, el suelo circundante acaba presentando un aspecto cenagoso, algo así como un lodazal; si es el bitumen sólido el que se ha sacado, el suelo se vuelve negro impidiendo que germinen las plantas. Si por accidente, estas vetas bituminosas entraran en contacto con el fuego, continuarían ardiendo durante mucho tiempo. Esto sucedió en un flanco de St. John, antes cultivado de patatas, que ardió cinco años completos".

"Sin embargo", puntualiza HUGHES, "habría que seguir estudiando estos fenómenos para corroborar la opinión de LE CLERC, que opina que fueron bloques de bitumen ardiendo los que causaron el cataclismo que borró de la faz de la tierra a las bíblicas ciudades de Sodoma y Gomorra".

Pudiera ser, aunque no lo dijera HUGHES, que la brea de Barbados fuera exportada a Europa, donde se empleó para sustituir a la brea noruega y al alquitrán sueco. Como señala PIERCE (1791), fue destinada para tratar dolen-

cias de lepra y pecho. Es interesante comentar que las hipótesis que defendían los aborígenes sobre el origen del asfalto estaban ligadas a los excrementos de los caimanes, ya que, así opinaban, debían ser de la misma materia porque los productos petrolíferos los hallaban en ciénagas y pantanos, atestados de estos reptiles.

En Barbados es de destacar el lago de asfalto situado en el cabo La Brea, que tiene medio kilómetro cuadrado de superficie y más de cincuenta metros de espesor.

## MEJICO

Los nativos de Venezuela y Méjico explotaron sus indicios mucho antes de la llegada de los europeos. En el antiguo Méjico hay evidencias del uso del "chapopotli", vocablo compuesto de dos palabras: "tzauc" o "tzacutli" (cemento) y "popochitli" (perfume), que era empleado para impermeabilizar sus canoas, cementar su cerámica y para fabricar inciensos ceremoniales tras adicionar resinas de copal y otras sustancias aromáticas, tal y como apunta ROBELO (1906). El copal, palabra derivada de la azteca "copalli", es una planta anacardiácea de denominación científica "Cyrtocarpa procera", que produce una resina que aún hoy en día es utilizada para fabricar barnices. Es posible que fuera a esta mezcla a la que se refiriera BERNAL DIAZ DEL CASTILLO cuando, escribiendo sobre Yucatán, expresara que "trajeron -los indígenas- braseros de barro con ascuas, y nos zahumaron con una como resina que huele a incienso". Es común entre los cronistas de la conquista identificar el copal con el betún cuando ambos eran ingredientes de un compuesto utilizado en las ceremonias religiosas para aromatizar las estancias. Si ya se comentó este equívoco en una de las anotaciones de GERONIMO DE HUERTA a la "Historia Natural" de PLINIO, lo mismo sucede con DIAZ DEL CASTILLO, que, cuando describe uno de los santuarios indígenas, escribe en el capítulo XCII de su obra, que "estaban allí unos braseros con encienso, que es su copal, y con los corazones de indios que aquel día habían sacrificado e se quemaban, y con el humo y copal le habían hecho aquel sacrificio".

En otro pasaje de su libro, exactamente en el capítulo XVI, relata que "llegamos

al paraje del río Guazacualco -próximo a la actual Veracruz- entramos en el río de Tonolá, que se puso el nombre entonces de San Antón, e allí se dio carena al un navío que hacía mucha agua", siendo ésta una de las abundantes referencias que este autor hizo del uso del betún para carenar los buques.

Fray BERNARDINO DE SAHAGUN (1529-1590) señaló en su "Historia General de las cosas de Nueva España" (1540) que "abundan una suerte de cilindros -juncos de caña con sustancias aromáticas y que eran empleados como bastones perfumados-. Los preparan a partir de varias hierbas de agradable aroma, que mezclan con bitumen, llamado por ellos chapopotli, así como con hongos y con la rosa de la variedad poyomatli".

El "chapopotli" era un tipo de bitumen extraído del mar. Era arrastrado por las olas del océano hasta la orilla, de donde era recogido. Era muy apreciado, sobre todo por las mujeres, gracias a su olor, atenuado por la sal. Sin embargo, hay autores como FORBES (1958) que opinan que había dos variedades de este bitumen: el que servía para elaborar los cilindros aromatizados y otro, denominado comúnmente como "tziictli", que era el preferido por las mujeres. Este último solía mezclarse con "axin", para hacerlo más blando y suave. El "axin" era una cera amarilla preparada a partir de unas orugas llamadas por ellos como "axquauitl", que vivían en los árboles. Una vez conseguida una masa de aspecto gelatinoso era mascado por las adolescentes y niñas de la comunidad, dado que era costumbre que sólo las mujeres solteras pudieran emplearlo, si bien, en privado y lejos de las miradas reprobatorias de los demás miembros de la tribu, también era masticado por mujeres casadas e incluso por hombres. Si se les hubiera visto, su reputación habría menguado. Esta goma prevenía las caries. Existía otra variedad llamada "tepetziictli" o "tacanltziictli", que se conseguía adicionando al bitumen cera de abejas, que era recolectada en la isla de Cozumel, posiblemente el más importante centro apícola del Yucatán, en miles de colmenas de tronco construidas por una especie nativa de abejas, carentes de aguijón, y que producen una miel muy líquida y muy dulce. El "tacanltziictli" tenía buena reputación como remedio para los dolores de cabeza.

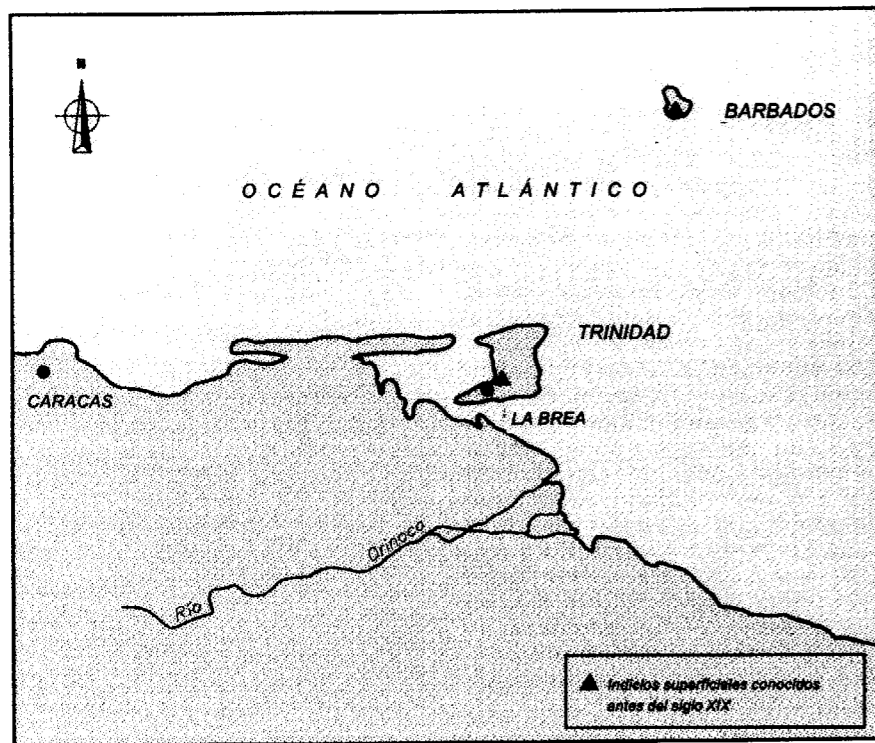


Figura 5. Indicios en las islas de Trinidad y Barbados

Puede observarse que el asfalto, mezclado con distintos productos naturales, servía sobre todo para fines aromatizadores y para fabricar goma de mascar. Es llamativa la similitud fonética entre la voz "tzictli", pronunciada "chicli", y la actual chicle, más si cabe cuando se empleaba de la misma manera. Este aztequismo ha llegado a ser de uso universal para designar al látex aglutinante que se obtiene del chicozapote ("Zapote achras"), que adicionado con caucho, azúcar, almidón, materias colorantes y sales constituye la popular goma de mascar.

El "tzictli" fue citado por JUAN DE CARDENAS en el capítulo XIII de su "Problemas y Secretos Maravillosos de las Indias": "De aquí se infiere la causa por que a los que maxcan de ordinario este betún negro, llamado por los indios zictli, se les quita la gana de comer, y es que con aquel continuo movimiento de maxcarlo no solamente llaman mucha flema, según avemos dicho, pero poniéndose a boca del estómago, empalaga terriblemente el apetito y aun embota la actividad y fuerza al calor natural para que no gaste y consuma la substancia de nuestros miembros, de cuyo consumo procede, como dize Galeno, la hambre; pero ay esta diferencia entre maxcar zictli o traer coca o tabaco en la boca, que como estas yer-

bas son de suyo fuertes y agudas embían cierto humo al cerebro, las cuales causan un género de embriaguez, mediante el cual no se siente el cansancio, y esto no haze el zictli, antes de maxcarlo de ordinario se cansan y enflaquecen los miembros del rostro y de todo el cuerpo".

Otra noticia acerca de indicios superficiales en Méjico está recogida en "Efemérides astronómicas arregladas al meridiano de México" (1775-1783), donde puede leerse que "fue Dios servido, Creador de lo visible é invisible, de que el día Viernes 21 de Febrero de este año de 1783, se observase en las aguas de las zanjas, que han de servir para cimientos de la obra proyectada, y anexa al Sacrosanto Santuario de Guadalupe de México, una especie de petróleo, que podría ser útil en lo sucesivo, Dios mediante, esto es, queriendo Dios, por la intersección de su Madre Santísima María, siempre Virgen" (Ms 13244. Biblioteca Nacional).

El historiador ELWES (1941) descubrió que los indígenas beneficiaron gilsonita cerca de Papantla, en el estado de Veracruz, y que denominaron "chapo" a la mena, o también, atendiendo a su mayor ley, "cóes". La primera denominación parece estar emparentada con el vocablo "chapapote" o "chapopote", cas-

tellanización de "chapopotli", utilizado en Méjico para señalar a los productos petrolíferos. En las Antillas, el chapapote era, y aún sigue siendo, la palabra empleada para designar a una mezcla compuesta del propio chapapote, brea y alquitrán, que servía para alquitrantar la cala y otras partes interiores de los buques. Se aseguraba que cien partes de chapapote y cinco de sebo o aceite de linaza podían reemplazar al alquitrán. También en Estados Unidos, sobre todo en el Sur, era costumbre mascar una cera negra para limpiarse los dientes, al igual que hacían los indígenas mejicanos, y que ha pasado al castellano con la denominación de chapote, ciertamente vinculado con la raíz azteca. Siguiendo con este tipo de curiosidades lingüísticas, en muchas comarcas norteñas de España, estos términos son de uso común, acaso heredados de los indios que, una vez de vuelta a sus lugares de nacimiento, trajeron palabras de aquellas tierras en las que intentaron hacer fortuna. Así, en Cantabria y en Asturias puede oírse la palabra chapapotes para indicar vertidos o acumulaciones de petróleo.

El ya nombrado GERONIMO DE HUERTA apunta que "desde Yucatán hasta el mar de California se extiende la Nueva España, que fue conquistada por Hernando de Cortés en el año 1518. Ciento veinte millas hacia abajo corre el río de Pamuco, donde Francisco Garay perdió cuatrocientos de sus soldados, que fueron muertos, sacrificados y comidos por los indios. A esta tierra llaman los naturales Guafteca o Guasteca, la cual fue sujeta por los hombres del valeroso Cortés. Allí está el pueblo Cimateo, en cuyo pie está el monte con dos fuentes, una de pez negra y otra de pez roja".

BERNAL DIAZ DEL CASTILLO es uno de los autores que suministra más citas de indicios superficiales en suelo mejicano. En el capítulo CXXXVI de su "Historia verdadera de la conquista de la Nueva España" puede leerse: "Envié por capitán a la Villa Rica -esto es, la ciudad de Veracruz- por los aparejos que he dicho para mandallo traer a un Santa Cruz, burgalés, regidor que después fue de Méjico, persona muy buen soldado y diligente; y hasta las calderas para hacer brea y todo de cuanto antes habían sacado de los navíos trujo con más de mil indios que todos los pueblos de aquellas provincias, enemigos de mejicanos, luego se los daban para traer las

cargas. Pues como no teníamos pez para brear, ni aun los indios lo sabían hacer, mandó Cortés a cuatro hombres de la mar que sabían de aquel oficio que en unos pinares cerca de Guaxalcingo fuesen a hacer la pez". Este comentario, que fuera tachado por DIAZ DEL CASTILLO en el original de su libro, sugiere la aceptación del uso del betún en tareas de calafateado. Es además curioso que a los calafateadores se les otorgue poco menos que el rango de gremio u oficio, algo parecido a lo que ya sucediera en Mesopotamia como puede comprobarse tras la lectura del código de Hammurabi. Igualmente, en el capítulo XCVIII, estando Hernán Cortés dispuesto a reemprender el viaje, decidió, dado que había carpinteros entre los nativos, que "fueran calafateadas y breadas las jarcias" de sus buques.

En el capítulo CLXVI de este mismo libro, el autor explica otra aplicación del betún por parte de los indígenas, rara vez citada en las obras referidas a la conquista del Nuevo Mundo, y que, sin embargo, trae a la memoria las guerras contra Saladino y las primeras aplicaciones de las bolas incendiarias ("fuego griego") en las batallas del Peloponeso: "Y nos echaban -los indios- de arriba mucha pez y resina ardiendo".

Por otra parte, en el capítulo CLVII se lee que "la primera cosa que mandó Cortés a Guatemuz fue que adobasen los caños de agua de Chapultepeque, según y de la manera que solían estar". La palabra "adobar", frecuentemente usada por DIAZ DEL CASTILLO, significa "arreglar con una masa de barro, mezclado a veces con paja". Sin embargo, es más que probable que la utilizara en un sentido más amplio. Cuando escribe en el capítulo XXVIII que "vino el cacique a hablar con Cortés y le preguntó que a qué volvíamos -a la península de Yucatán, zona abundante en indicios- le dijo que porque hacía agua un navío y le quería adobar (...). Y estuvimos en adobar el navío cuatro días", DIAZ DEL CASTILLO se estaría refiriendo a una de las etapas del calafateado. Los cascos, sobre todo en los puntos de rotura, se cubrían con barro, pero también con betún. De una manera más explícita lo señala en el capítulo CVIII: "Cortés mandó llamar a Martín López, carpintero de hacer navíos, y a Andrés Núñez, y con los indios carpinteros que le dio el gran Moctezuma, después de platicado el porte que se podría labrar los tres navíos, le mandó que luego pusiese por

la obra de los de hacer y poner a punto, pues en la Villa Rica había todo aparejo de hierro y herreros, y jarcia, y estopa, y calafates, y brea". Es esto lo que nos hace pensar que adobar las cañerías de agua estaba destinado a hacerlas más impermeables, mediante la adición de bitumen y evitar así las posibles fugas de agua. Este procedimiento tampoco era ninguna novedad: las acequias y sistemas de regadío de Babilonia ya habían sido tratadas de esta manera muchos siglos antes.

## VENEZUELA

En cuanto a Venezuela, el famoso erudito ALONSO DE BARBA (1559 - 1662) mencionó en su "Arte de los Metales" (1640) que "el asfalto no era desconocido, ya que abunda en las montañas Los Chiriguanas. Si no se ha hablado más de él es porque es una zona hostil, morada por tribus que no han sido subyugadas y a las que se da en llamar de los indios guerreros". Este enclave, hoy ciudad con el mismo nombre que las montañas citadas por BARBA, se ubica

al Oeste del lago Maracaibo, dentro de la provincia colombiana de Santander, y al resguardo de la sierra de Perijá. Aunque pertenece a Colombia, la región rica en indicios superficiales se extiende hacia el Este, llegando a territorio venezolano - zona que es aún hoy foco de conflictos fronterizos por la soberanía de los yacimientos de la isla del Monje - razón por la que no existe certeza acerca de la zona concreta a que se refiere BARBA. Durante años este comentario de BARBA fue objeto de debate, ya que se pensaba que la referencia a las montañas Los Chiriguanas era una alusión a la tribu de los chiriguano, que, a partir del siglo XV, emigraron hacia el Sur del altiplano boliviano.

En la mitad del siglo XVI los bucaneros y piratas que llegaban a tierras americanas solían refugiarse en el lago venezolano de Maracaibo, llamado en ese país como Saco de Venezuela, aprovechando estos descansos en su febril actividad para calafatear sus buques. El lugar donde amarraban es hoy la ciudad de San Timoteo, famosa por la calidad de su asfalto. Es sorprendente que, pasa-

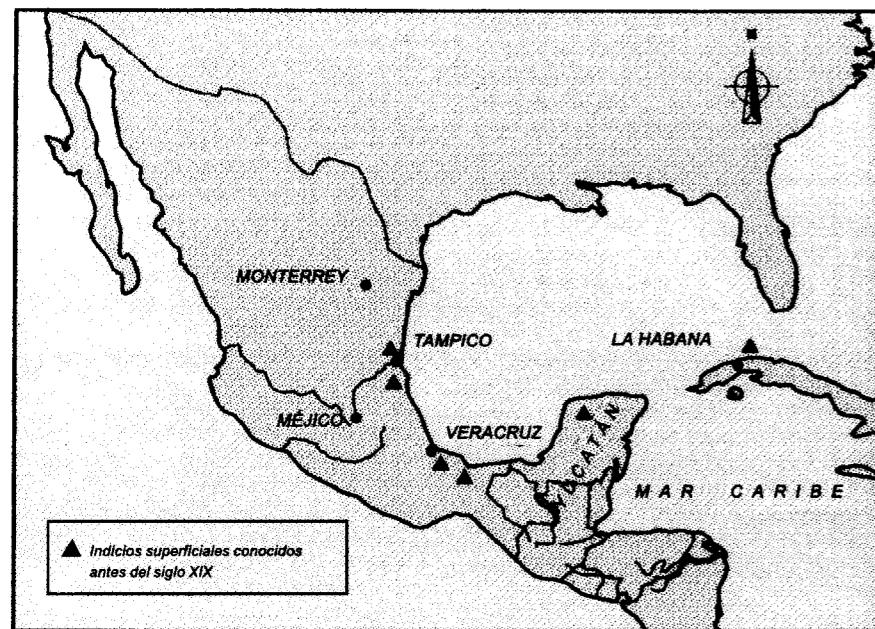


Figura 6. Indicios en Méjico

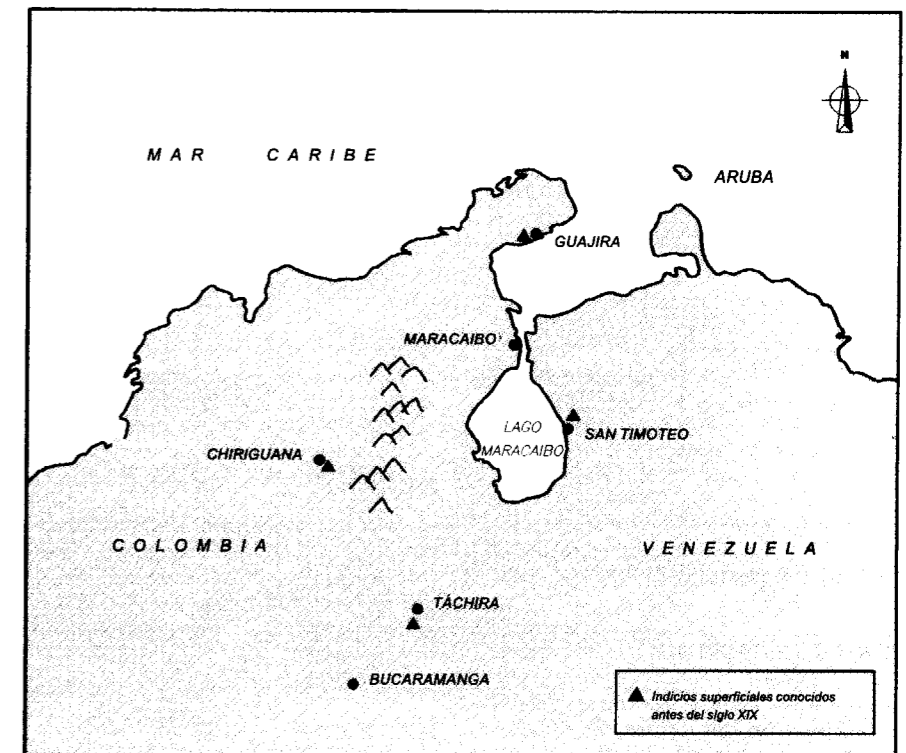


Figura 7. Indicios en Venezuela



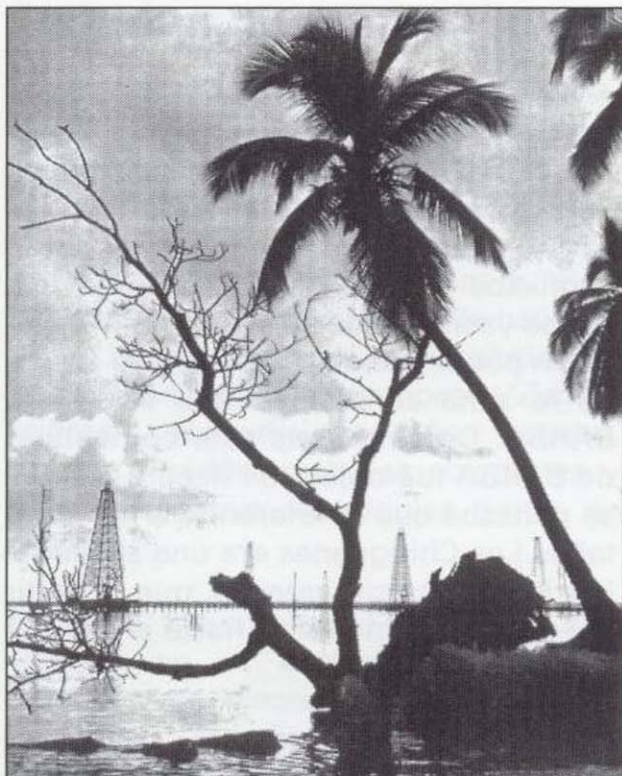


Figura 8. Plataformas petrolíferas en el lago Maracaibo

dos los años, se identificara a este santo como el patrón de los embaucadores y tramposos, quizá, como respuesta a la protección que debió dar en otro tiempo a los amigos del abordaje en alta mar. Este asfalto era llamado mene, vocablo de amplio uso en el continente americano para designar a los productos petrolíferos, y que en algunos casos ha sido incorporado a la toponimia de la región: en el distrito venezolano de Perijá, al pie de la sierra de Tulé, brota asfalto de manera intermitente que llega a alcanzar en algunos momentos el medio metro de altura. Los lugareños conocen este lugar como el "Picacho del Mene".

Este lago también ha pasado a la historia porque se cree que fue asfalto extraído de su seno el que utilizara el Emperador Carlos I de España para aliviar sus dolencias de gota. Abundan las ciudades, sobre todo en la margen occidental del lago, cuyos nombres son un homenaje a este producto natural -Mene, Mene Grande-, aunque también al Sur, en dirección a la frontera con Colombia, como las pequeñas poblaciones de La Petrólea o la de Aguas Negras.

**COMENTARIOS FINALES**

Como se ha podido comprobar fueron numerosas las filtraciones de hidrocarburos que llamaron la atención de los viajeros y exploradores que llegaron a



Figura 9. Indicios descubiertos antes del siglo XIX

las tierras hispanoamericanas antes del siglo XIX.

Si se revisa la siguiente tabla, se concluye que prácticamente todos esos indicios de los que tomaron nota nuestros antepasados europeos están ubicados en campos petrolíferos actualmente en explotación.

**REFERENCIAS**

\* BARBA, A.A. (1640). "Arte de los meta-

les, en que se enseña el verdadero beneficio de las de oro y plata por açogue. El modo de fundirlos todos, y como se han de refinar y aportar unos de otros". Ed. de 1770. Imp. de la Vda. de Manuel Fernández. Madrid.

\* BOCCONE, P. (1697). Manuscritos del Museo de Física de Venecia.

\* CIEZA DE LEON, P. (1541). "Descubrimiento y Conquista del Perú". Ed. ZERO (Madrid) y Ed. Jamkana (Buenos Aires). 1984. 422 p.





Figura 8. Plataformas petrolíferas en el lago Maracaibo

dos los años, se identificara a este santo como el patrón de los embaucadores y tramposos, quizá, como respuesta a la protección que debió dar en otro tiempo a los amigos del abordaje en alta mar. Este asfalto era llamado mene, vocablo de amplio uso en el continente americano para designar a los productos petrolíferos, y que en algunos casos ha sido incorporado a la toponimia de la región: en el distrito venezolano de Perijá, al pie de la sierra de Tulé, brota asfalto de manera intermitente que llega a alcanzar en algunos momentos el medio metro de altura. Los lugareños conocen este lugar como el "Picacho del Mene".

Este lago también ha pasado a la historia porque se cree que fue asfalto extraído de su seno el que utilizara el Emperador Carlos I de España para aliviar sus dolencias de gota. Abundan las ciudades, sobre todo en la margen occidental del lago, cuyos nombres son un homenaje a este producto natural -Mene, Mene Grande-, aunque también al Sur, en dirección a la frontera con Colombia, como las pequeñas poblaciones de La Petrólea o la de Aguas Negras.

**COMENTARIOS FINALES**

Como se ha podido comprobar fueron numerosas las filtraciones de hidrocarburos que llamaron la atención de los viajeros y exploradores que llegaron a

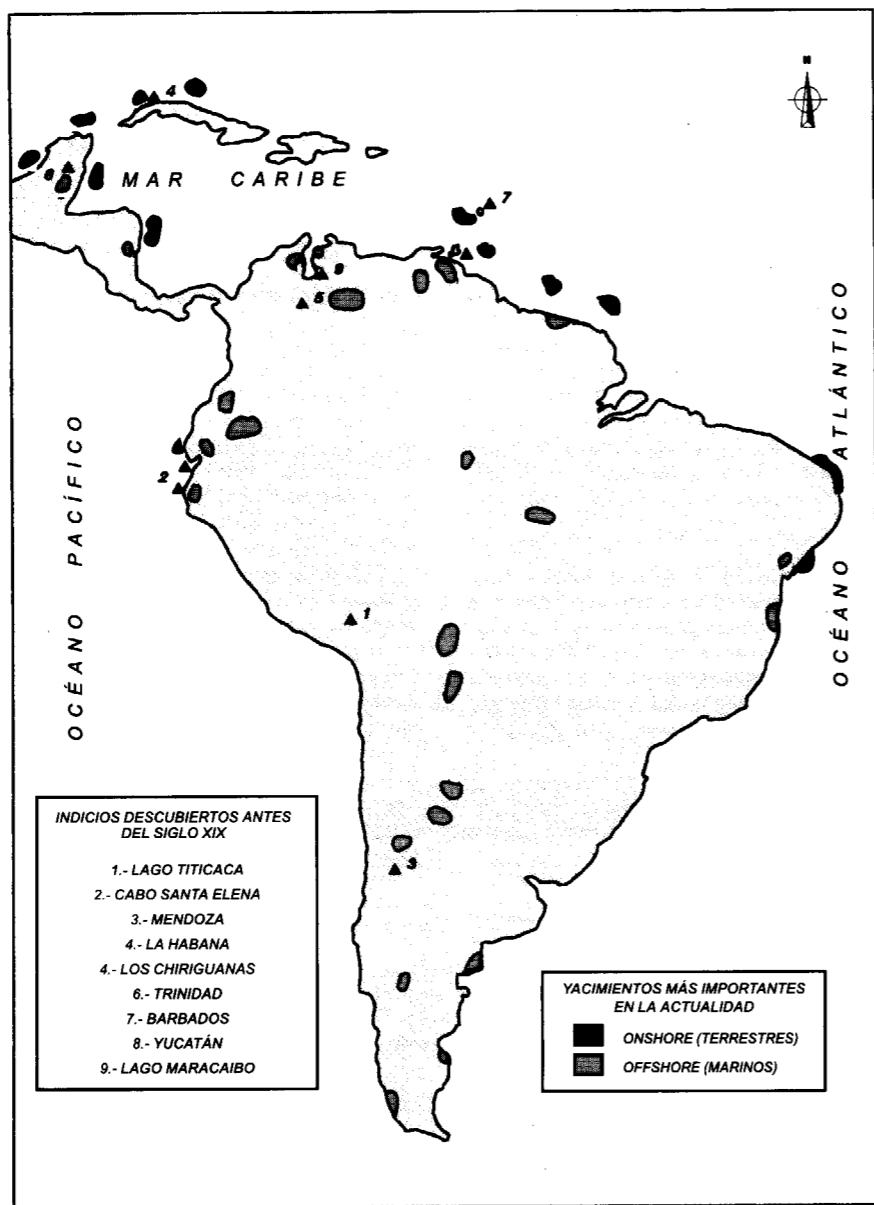


Figura 9. Indicios descubiertos antes del siglo XIX

las tierras hispanoamericanas antes del siglo XIX.

Si se revisa la siguiente tabla, se concluye que prácticamente todos esos indicios de los que tomaron nota nuestros antepasados europeos están ubicados en campos petrolíferos actualmente en explotación.

**REFERENCIAS**

\* BARBA, A.A. (1640). "Arte de los meta-

les, en que se enseña el verdadero beneficio de las de oro y plata por açogue. El modo de fundirlos todos, y como se han de refinar y aportar unos de otros". Ed. de 1770. Imp. de la Vda. de Manuel Fernández. Madrid.

\* BOCCONE, P. (1697). Manuscritos del Museo de Física de Venecia.

\* CIEZA DE LEON, P. (1541). "Descubrimiento y Conquista del Perú". Ed. ZERO (Madrid) y Ed. Jamkana (Buenos Aires). 1984. 422 p.

ANTIGUO INDICIO	INICIO DE SU EXPLOTACION	¿AHORA EN EXPLOTAC.?	DENOMINACION DEL PRODUCTO	PRIMERA REFERENCIA	USO DEL PRODUCTO
LAGO TITICACA (BOLIVIA-PERU)	CULTURA TIAHANUACO	NO	MENE		MEDICINAL CONSTRUCCION CEREMONIAL
CABO SANTA ELENA (ECUADOR-PERU)	PRECOLOMBINO	SI	COPEY COPAL	A. DE ZARATE (1555)	CALAFATEADO
MENDOZA (ARGENTINA)	PRECOLOMBINO	SI			COMERCIAL
LA HABANA (CUBA)	PRECOLOMBINO	SI		G. F. DE OVIEDO (1526)	CALAFATEADO
LAS CHIRIGUANAS (VENEZUELA)	PRECOLOMBINO	SI		A. DE BARBA (1640)	
TRINIDAD	PRECOLOMBINO	SI	PICHE	W. RALEYGH (1595)	CALAFATEADO
BARBADOS	PRECOLOMBINO	SI		G. HUGHES (1570)	
YUCATAN Y VERACRUZ (MEJICO)	AZTECA Y MAYA	SI	CAPOPOTLI CHAPOPOTE CHAPAPOTE	B. DE SAHAGUN (1540)	CEREMONIAL MEDICINAL
LAGO MARACAIBO (VENEZUELA)	PRECOLOMBINO	SI	MENE	G. F. DE OVIEDO (1526)	CALAFATEADO

\* DE ACOSTA, J. (1590). "Historia Natural y Moral de las Indias". Imp. Juan de León. Sevilla.

\* DE CARDENAS, J. (1591). "Problemas y Secretos Maravillosos de las Indias". Alianza Editorial (1988). 282 p.

\* PINELO, A. L. (1655). "El Paraíso en el Nuevo Mundo".

\* DE SAHAGUN, B. (1540). "Historia General de las Cosas de Nueva España".

\* DEUSTUA, R. A. (1912). "Estado actual y porvenir de la Industria Petrolera en el Perú". Litografías y Tipografías Carlos Fabri.

\* DE VELASCO, J. (1789). "La Historia del Reino de Quito".

\* DE ZARATE, A. (1555). "Historia del descubrimiento y conquista del Perú".

\* DIAZ DEL CASTILLO, B. (1575). "Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España". Biblioteca Americana. Historia 16 (1991). 276 p.

\* FERNANDEZ DE OVIEDO Y VALDES, G. (1526). "Sumario de la Natural y General Historia de las Indias". Ed. Historia 16 (1986). 181 p.

\* FORBES, R.J. (1958). "Studies in ancient technology". Leiden (Holanda).

\* GARCIA TAPIA, N. (1992). "Del Dios del Fuego a la máquina de vapor". Ed. Ambito-Instituto de Ingenieros Técnicos de España. Valladolid. 364 p.

\* GUILLEMOT, J. (1982). "Geología del Petróleo". Ed. Paraninfo. Madrid. 358 p.

\* HUGHES, G. (1750). "Natural History of the Island of Barbados". Londres. p. 50-51.

\* MONARDES, N. (1565). "Historia Medicinal de las cosas que se traen de nuestras Indias Occidentales". Sevilla.

\* MOSCONI, E. (1926). "El Petróleo argentino". Ed. Ferrari Hermanos. Buenos Aires. p. 26.

\* NUGGENT, N. (1807). "An account of the bituminous Lake or Plain in the Island of Trinidad". Geological Society, Vol. I, p. 63.

\* MAESTRO DE LEON, A. (1944). "El Petróleo en el mundo moderno". Ed. Pace. Madrid. 241 p.

\* MUÑIZ, P. E.; COX, C. M. (1941). "Petróleo en Sudamérica". Escuela de Estudios Argentinos. Buenos Aires. 151 p.

\* PIERCE, T.P. (1791). "An account of the use of petroleum barbadense in the treatment of lepra and on occult cancer of the breast". Medical Comment., Edimburgo.

\* PLINIO, C. (siglo I). "Historia Natural". Trad. y com. por GERONIMO DE HUERTA en 1629. Imp. Juan González. Madrid.

\* RALEYGH, W. (1596). "The Discoverie of the Large Rich and Bewtiful Empire of Gviana". Londres.

\* SPIELMAN, P. E. (1938). "Who discovered the Trinidad Lake Asphalt?". Science Progress. Julio 1938, N° 129, p. 52-62.

\* "Anales de Historia Natural: 1799 - 1804". (1993). Tomo II. Números 4 - 12. Edición de J. FERNANDEZ PEREZ. Secretaría General del Plan Nacional I+D. Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.



# NORMAS DE PUBLICACION PARA LOS AUTORES

Los trabajos inéditos que se reciban para su publicación en el BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO serán revisados por un Comité editorial que decidirá si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

## *Texto.*

El texto, que será completo (tablas, figuras, fotografías, etc), con pruebas en papel, irá acompañado de la correspondiente grabación en disquete, señalando en el mismo el programa y versión utilizados. Este texto se considerará definitivo. En él serán marcadas las fechas de recepción y aceptación.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, tablas y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse, si es posible. En los originales de las mismas se reseñará el título del trabajo, así como el nombre de los autores.

Todos los trabajos en lengua española irán precedidos de un breve resumen en español e inglés o francés. Los de idiomas extranjeros lo llevarán en su idioma y también en español. Al final de los mismos, y en párrafo aparte, se incluirán las palabras clave, reservándose el último lugar para la localización geográfica, si la hubiere.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original y figuras.

## *Idiomas.*

Excepcionalmente podrán publicarse trabajos en otros idiomas (preferiblemente inglés o francés), siempre que abarquen temas sobre España.

## *Referencias.*

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

## *Parte gráfica.*

La parte gráfica vendrá preparada para ser reproducida a las anchuras máximas de 80 mm. (una columna) y 170 mm. (doble columna). Se evitará en lo posible la inclusión de encartes, así como se reducirá a lo indispensable el número de figuras, tablas y fotografías. En las ilustraciones a escala, ésta se expresará solamente en forma gráfica, con objeto de evitar errores en caso de reducir el original. Todas las figuras irán numeradas correlativamente según su orden de inserción.

Las figuras serán originales y nunca copiativos, delineadas con tinta china sobre papel vegetal. Las tablas, bien presentadas para su reproducción fotográfica. Las fotografías serán positivos en blanco y negro sobre papel brillo y excepcionalmente en color (positivo en brillo o transparencia).

## *Pruebas.*

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificación alguna, adición o supresión al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de diez días, pasados los cuales la Redacción decidirá entre retrasar el trabajo o realizar ella misma la corrección, declinando la responsabilidad por los errores que pudieran persistir.

Los originales de texto y figuras quedarán en poder de la Redacción.

## *Tiradas aparte.*

Se asignan 30 tiradas aparte con carácter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

---

Toda la correspondencia referente a las publicaciones  
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio Ladrón de Guevara  
Jefe del Servicio de Publicaciones  
Instituto Tecnológico Geominero de España  
Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

# INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

## Finalidad:

*Investigación, Desarrollo Tecnológico y Asistencia técnica en Geología, Minería  
Agua subterráneas, y Disciplinas conexas*



### GEOLOGIA

MAPA GEOLOGICO NACIONAL (MAGNA)  
ESTUDIOS GEOLOGICOS Y CARTOGRAFIA TEMATICA  
GEOLOGIA MARINA



### RECURSOS MINERALES

EXPLORACION MINERA E INVESTIGACION DE YACIMIENTOS  
METALOGENIA Y CARTOGRAFIA METALOGENETICA  
EVALUACION DE RESERVAS E INVENTARIO DE RECURSOS  
PROCESOS, TECNOLOGIA Y ECONOMIA MINERAS  
NORMATIVA Y SEGURIDAD MINERA



### AGUAS SUBTERRANEAS

CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA  
PROTECCION DE RECURSOS HIDROGEOLOGICOS  
EVALUACION Y CONTROL DE ACUIFEROS SUBTERRANEOS  
RECURSOS GEOTERMICOS



### INGENIERIA GEOAMBIENTAL

RIESGOS GEOLOGICOS  
RESTAURACION DEL MEDIO AMBIENTE MINERO  
GEOTECNIA Y GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA  
ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES



### LABORATORIOS Y ENSAYOS

ANALISIS QUIMICOS Y MINERALOGICOS  
GEOQUIMICA BASICA Y APLICADA  
GEOFISICA Y TELEDETECCION APLICADA  
ENSAYOS MINERALURGICOS Y GEOTECNICOS  
CARACTERIZACION DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES  
SONDEOS MECANICOS Y ENSAYOS DE BOMBEO



### INFORMACION, DOCUMENTACION Y BANCO DE DATOS

FONDOS DOCUMENTALES Y BASES DE DATOS  
LITOTECA  
SISTEMAS DE INFORMACION Y COMUNICACIONES



### SERVICIO DE PUBLICACIONES

CARTOGRAFIA TEMATICA A DIVERSAS ESCALAS  
PUBLICACIONES SOBRE GEOLOGIA, MINERIA Y CIENCIAS CONEXAS  
«BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO»  
«REVISTA ESPAÑOLA DE MICROPALAEONTOLOGIA»



### MUSEO GEOMINERO

PALEONTOLOGIA Y MINERALOGIA  
CATALOGACION Y GESTION DE COLECCIONES GEOLOGICAS  
EXPOSICIONES: TEMPORALES Y PERMANENTES  
DIVULGACION CIENTIFICA

#### Sede Central:

C/Ríos Rosas, 23 - 28003 MADRID  
☎: 91/349 57 00. Fax: 91/349 57 62

#### Centro de Laboratorios:

C/La Calera, 1 - 28760 TRES CANTOS (MADRID)  
☎: 803 22 00