



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

boletín

geológico

y minero

VOLUMEN 102

Noviembre - Diciembre 1991

NUMERO 6



REVISTA BIMESTRAL DEL ITGE FUNDADA EN 1874

ISSN 0366-0176

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE, que incluye, entre otras, las atribuciones esenciales de un «Geological Survey of Spain», es un Organismo autónomo de la Administración del Estado, adscrito al Ministerio de Industria y Energía, a través de la Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales (R. D. 1.270/1988, de 28 de octubre). Al mismo tiempo, la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica le reconoce como Organismo Público de Investigación. El ITGE fue creado en 1849.

Volumen 102

Número 6

Noviembre - Diciembre 1991

boletín geológico y minero

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

Sumario

Geología	J. GARCIA SANSEGUNDO: Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte I)	3
	D. NAVARRO VAZQUEZ: Cabalgamientos hercínicos en la Unidad de Herrera (Rama Oriental del Macizo Paleozoico de la Cordillera Ibérica).	52
Minería	A. CONCHA, R. OYARZUN, R. LUNAR y J. SIERRA: Biolixiviación en columnas de sulfuros polimetálicos del yacimiento de Aznalcóllar (Faja Pirítica Ibérica)	60
Aguas subterráneas	J. TRILLA y J. ESTALRICH: La naturaleza del problema de la gestión de sistemas hídricos superficiales y subterráneos	72
	J. G. YELAMOS y F. I. VILLARROYA GIL: Variación de la piezometría y el caudal en cuatro explotaciones de aguas subterráneas en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid	79
Geofísica	J. L. PLATA TORRES: Resultados y documentación disponible del Proyecto ECORS-PIRINEOS	97
Estudio de minerales y rocas	M. POZO, J. CUEVAS, A. MORENO, R. REDONDO y S. LEGUEY: Caracterización de arcillas magnéticas bentónicas en la zona de Yuncos (Toledo)	115
Ingeniería GeoAmbiental	M. HERNANDEZ RUIZ y F. J. AYALA-CARCEDO: Evolución reciente anual e hiperanual del nivel medio relativo del mar. Estación mareográfica Aljicante I (1874-1987)	127
Información	M. LUCENA GIRALDO y M. DEL MAR FLORES: La minería en las Relaciones e Informes de los virreyes y gobernantes de Nueva Granada (1729-1818)	141
	Notas bibliográficas	177
	Indice de Materias	183
	Indice de Autores	187

DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

Rfos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid

Teléfono 441 70 67

ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

Doctor Fleming, 7, 2. - 28036-Madrid

Teléfono 250 02 03

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

CENTRO DE PUBLICACIONES
MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

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.

EXPLICACION DE LA PORTADA

Vista del Roque Blanco desde un punto situado entre Santiago del Teide y Tamaimo (NO de la Isla de Tenerife). Corresponde a un pitón fonolítico que intruye en coladas de la Serie I.

Autor: Félix Bellido Mulas.

Depósito legal: M. 3.279 - 1958
ISSN 0366 - 0176
NIPO 232 - 91 - 020 - 2

Imprenta IDEAL, S. A. - Chile, 27 - Teléf. 259 57 55 - 28016-MADRID

Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte I).

Por J. GARCIA SANSEGUNDO (*)

RESUMEN

Esta publicación corresponde a la primera parte del estudio de esta transversal a la Zona Axial pirenaica, en la que se incluyen los datos de la estratigrafía de la región. La zona estudiada se puede dividir en dos sectores: uno septentrional, correspondiente al Valle de Arán, y otro situado al Sur, incluido en la comarca de la Alta Ribagorça.

En esta zona las rocas más antiguas que se reconocen son cuarcitas, lutitas y calizas, de una edad posiblemente comprendida entre Cámbrico y Ordovícico. En el Domo del Garona, al norte del Valle de Arán, las rocas del Ordovícico Superior se constituyen principalmente por conglomerados, microconglomerados, areniscas, lutitas y calizas, que se disponen discordantemente sobre las rocas infrayacentes. Esta discordancia es muy evidente en el sector SE del Domo del Garona, donde las rocas del Ordovícico Superior van truncando hacia el norte a las diferentes unidades litoestratigráficas infrayacentes.

Las rocas silúricas, en la práctica totalidad del área, son ampelitas negras. Ocasionalmente, en la parte alta se han datado como silúricas algunos niveles de calizas.

Las rocas devónicas, que se distribuyen por toda la zona y se caracterizan por presentar gran diversidad de facies. En la parte septentrional y central del Sinclinorio del Valle de Arán, se constituyen en su parte baja por una serie calcáreo-pizarrosa de edad Devónico Inferior y Medio. Por encima, el Devónico Superior se caracteriza fundamentalmente por presentar rocas siliciclásticas (Areniscas de las Bordas). En el flanco sur del Sinclinorio del Valle de Arán se reconoce una sucesión devónica que, a diferencia de las anteriores, es calcáreo-lutítica. A partir de la cartografía geológica de las distintas unidades litoestratigráficas y de la determinación de edad con conodontos de estas rocas, se han puesto en evidencia los importantes cambios de facies existentes. Asimismo, se han detectado superposiciones estratigráficas y faunísticas anómalas que pueden ser interpretadas como debidas a cabalgamientos. En el sector de la Alta Ribagorça la sucesión devónica es también calcáreo-lutítica. En la parte alta de la misma aflora la Caliza de Mañanet, datada con conodontos, habiendo sido posible situar, en su parte alta, el límite Devónico Inferior-Medio.

Las rocas carboníferas afloran en el Sinclinorio de Plan d'Estan y corresponden a una sucesión siliciclástica en facies «Culm» de edad Namuriense. En la base se reconocen unas calizas que pueden tener una edad Devónico Superior - Carbonífero Inferior.

Las rocas permo-triásicas afloran al sur del área estudiada y son principalmente, lutitas rojas y areniscas del Pérmico y del Keuper. Ocasionalmente hay pequeños afloramientos areniscosos del Buntsandstein.

Palabras clave: Pirineos, Zona axial, Paleozoico.

ABSTRACT

This publication is the first part of a geological study of the Axial Zone of the Pyrenees in the Aran Valley and the Alta Ribagorça areas. This first part includes the stratigraphic study of the paleozoic rocks.

The oldest rocks of the study area are quartzites, shales and limestones of Cambro-Ordovician age. In the Garone Dome, conglomerates, microconglomerates and limestones of Upper Ordovician age unconformably overlie older rocks. This unconformity is very evident in the SE sector of the Garone Dome.

* División de Geología (ITGE). Calle Mayor, 20. 22700 Jaca (Huesca) - ESPAÑA.

The Silurian is represented by black ampelitic shales which are present in the whole study area. Occasionally, at the top the Silurian, limestones are found.

The Devonian rocks are also present in the whole study area. The geological map and paleontological data have revealed important lateral facies changes in the Devonian rocks. In the northern and central part of the Aran Valley Synclinorium, the Lower Devonian succession is constituted by shales and limestones. In the upper part of the succession siliciclastic rocks outcrop (Las Bordas sandstones). In the southern limb of the Aran Valley Synclinorium, the entire Devonian succession is made up by limestones and shales. In this southern limb, anomalous faunal distributions have been detected in some of the sections; they are suggested to be related with thrusting. In the Alta Ribagorça area, the Devonian succession is constituted by shales and limestones. There, in the upper part of this Devonian succession the Mañanet limestone Formation has been dated with conodonts. In the upper part of this formation, the Lower-Middle Devonian boundary has been found.

The Carboniferous outcrops in the Plan d'Estan Synclinorium and is constituted by a siliciclastic succession («Culm»). At the base of the «Culm» the Upper Devonian-Lower Carboniferous limestone is found.

The Permo-Triassic rocks, which rest unconformably over the Hercynian structures, occur in the southern part of the study area. These rocks are red shales and sandstones.

Key words: Pyrenees, Axial zone, Paleozoic.

Este trabajo, que será publicado en cuatro partes debido a su gran amplitud, corresponde a la memoria de la Tesis Doctoral realizada por el que suscribe y que fue defendida en abril de 1991, en la Universidad de Oviedo. El trabajo consiste en un estudio geológico realizado en una franja N-S de la parte central de la Zona Axial Pirenaica.

Este estudio consta, fundamentalmente, de tres partes. La primera trata sobre el estudio estratigráfico de este sector, se incluyen datos cronoestratigráficos y se establecen comparaciones con sucesiones estratigráficas de otros sectores de la Zona Axial pirenaica. La segunda parte es un estudio tectónico, el cual se ha realizado separadamente para tres zonas o dominios estructurales con características diferentes. En la tercera parte del trabajo se intenta realizar un estudio comparativo entre las estructuras de esta transversal y de otras áreas de la Zona Axial pirenaica, con el fin de intentar establecer una correlación. Este estudio también trata de poner de manifiesto la gran controversia existente en la actualidad, sobre la interpretación de la estructura de la Zona Axial, donde trabajaron diferentes escuelas con puntos de vista muy dispares.

En la primera publicación de la memoria de la Tesis Doctoral (parte I) se incluye íntegramente el estudio estratigráfico, así como la introducción de dicha memoria. La segunda publicación (parte II), incluye la descripción de la estructura de los dos primeros dominios estructurales di-

ferenciados, y que han sido denominados, respectivamente, «Domo del Garona» y «Dominio del Valle de Arán». La tercera publicación (parte III) contendrá la descripción de la estructura del tercer dominio («Dominio de la Alta Ribagorça»); asimismo, se intentará relacionar las estructuras de toda la transversal. Por último, en la cuarta publicación (parte IV) se llevará a cabo un estudio comparativo entre las estructuras de la zona estudiada y de otros sectores de la Zona Axial pirenaica, así como las conclusiones que se pueden extraer de este trabajo.

Simultáneamente a la publicación de la memoria de la Tesis Doctoral se publicarán, igualmente, dos mapas geológicos de la zona estudiada, en color, de los sectores del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça, incluidos ambos en un único anexo. Estos mapas acompañarán a la primera publicación (parte I).

1. INTRODUCCION

En la Cordillera Pirenaica afloran rocas con una edad comprendida entre un posible Precámbrico y Terciario. En ella existe un registro de la deformación complejo, que básicamente se puede considerar como el resultado de la superposición de dos orogenias, una Hercínica y otra Alpina. Además, pueden existir deformaciones anteriores afectando a rocas paleozoicas. Así, al final del Ordovícico ha tenido lugar un episodio deformativo, que se puede reconocer gracias

a la existencia de una discordancia angular de edad Caradociense reconocida en diversos puntos del Pirineo (SANTANACH, 1972b). No existen registradas estructuras importantes ligadas a esta deformación, observándose únicamente en algunos casos, un basculamiento de la serie precaradociense.

A grandes rasgos, el Pirineo ha sido dividido en tres zonas, que son: Zona Norpirenaica, Zona Surpirenaica y Zona Axial (CHOUKROUNE y SEGURET, 1973). La Zona Norpirenaica se caracteriza, principalmente, por la existencia de estructuras alpinas vergentes al norte, y la Surpirenaica por el desarrollo de estructuras vergentes al sur, y en ambas afloran principalmente rocas de edad Mesozoico-Terciaria. En la Zona Axial afloran principalmente rocas paleozoicas que configuran el eje geográfico de la Cadena Pirenaica, donde las estructuras alpinas también vergen al sur (fig. 1). Actualmente existe un amplio conocimiento referente a la estratigrafía y estructura de los materiales mesozoico-terciarios (SEGURET, 1972; GARRIDO, 1973; WILLIAMS y FISHER, 1984; CAMARA y KLIMOWITZ, 1985; MUÑOZ, 1985, etc.).

Aunque desde antiguo existen numerosas referencias sobre la geología de la Zona Axial pirenaica, en lo referente al conocimiento de la estratigrafía, edad y estructura de las rocas paleozoicas y precámbricas existen grandes lagunas. El deficiente conocimiento estratigráfico en la Zona Axial es debido principalmente a la complicada estructura hercínica existente, a las estructuras alpinas superpuestas y a las rocas que a veces se encuentran afectadas por una deformación interna penetrativa muy heterogénea, y un metamorfismo regional intenso desigualmente distribuido. Aún hoy en muchas áreas no se conoce con suficiente precisión la edad de algunos materiales, ni la sucesión estratigráfica. Con esta perspectiva es aún más problemático el establecimiento de la paleogeografía.

En lo que se refiere al nivel de conocimiento de la estructura de la Zona Axial existen áreas bien conocidas gracias a la elaboración de trabajos minuciosos, mientras que, por el contrario, en otros sectores aún se reconoce por primera vez, hoy en día, estructuras de escala kilométrica.

En la Zona Axial, en el pasado y hasta tiempos

recientes, han trabajado diferentes escuelas, como son la holandesa (ZWART, 1963b, 1979; VAN DEN EECKHOUT y ZWART, 1988, entre otros), la de Toulouse (SOULA et al., 1986a, b; MAJESTEMENJOLAS, 1979a), la de Montpellier (SEGURET y PROUST, 1968 a y b; MATTE, 1969), así como otros autores que han trabajado en diferentes áreas, como son GUITARD (1970), SANTANACH (1972a), MULLER y ROGER (1977), etc. Seguramente, el hecho de que hayan intervenido tantas escuelas en el estudio de la Zona Axial pirenaica, con diferentes métodos y objetivos, ha dificultado seriamente la posibilidad de sintetizar los datos obtenidos en las distintas zonas. En los últimos años se ha producido un importante avance en el conocimiento geológico de la parte oriental de la Zona Axial pirenaica, incorporándose principalmente, y entre otras, las escuelas de Barcelona (CARRERAS, 1975; CARRERAS et al., 1980; MUÑOZ, 1985; CASAS, 1984; CASAS et al., 1989, etc.).

1.1. SITUACION GEOGRAFICA DEL AREA ESTUDIADA

El área estudiada se encuentra enclavada en el Pirineo central y corresponde a una transversal de dirección norte-sur de esta Cordillera. En el extremo nororiental se localiza un pequeño sector perteneciente a la región francesa de l'Ariège. El resto de la zona septentrional corresponde al Valle de Arán y el sector meridional a la comarca de la Alta Ribagorça. Toda la transversal que ha sido objeto de estudio se caracteriza por presentar un relieve glaciar, todavía preservado actualmente.

El Valle de Arán, situado al noroeste de la provincia de Lérida, se encuentra surcado por el río Garona, que vierte sus aguas al océano Atlántico. El trazado de este río tiene dirección este-oeste en el alto y medio Arán, y a partir de Viella se caracteriza por ser muy montañoso, formado por amplios valles transversales al Garona, entre los que se pueden destacar los de S. Joan de Torán, Barradós, Joeu, Nere, etc. Las laderas son escarpadas y los desniveles importantes. En el extremo noreste limita con la región de l'Ariège por una alta y afilada cresta montañosa, de la que forma parte el Tuc de Mauberne (2.880 m.), que es la máxima altura de este sector. Sin embargo, unos 15 kilómetros hacia

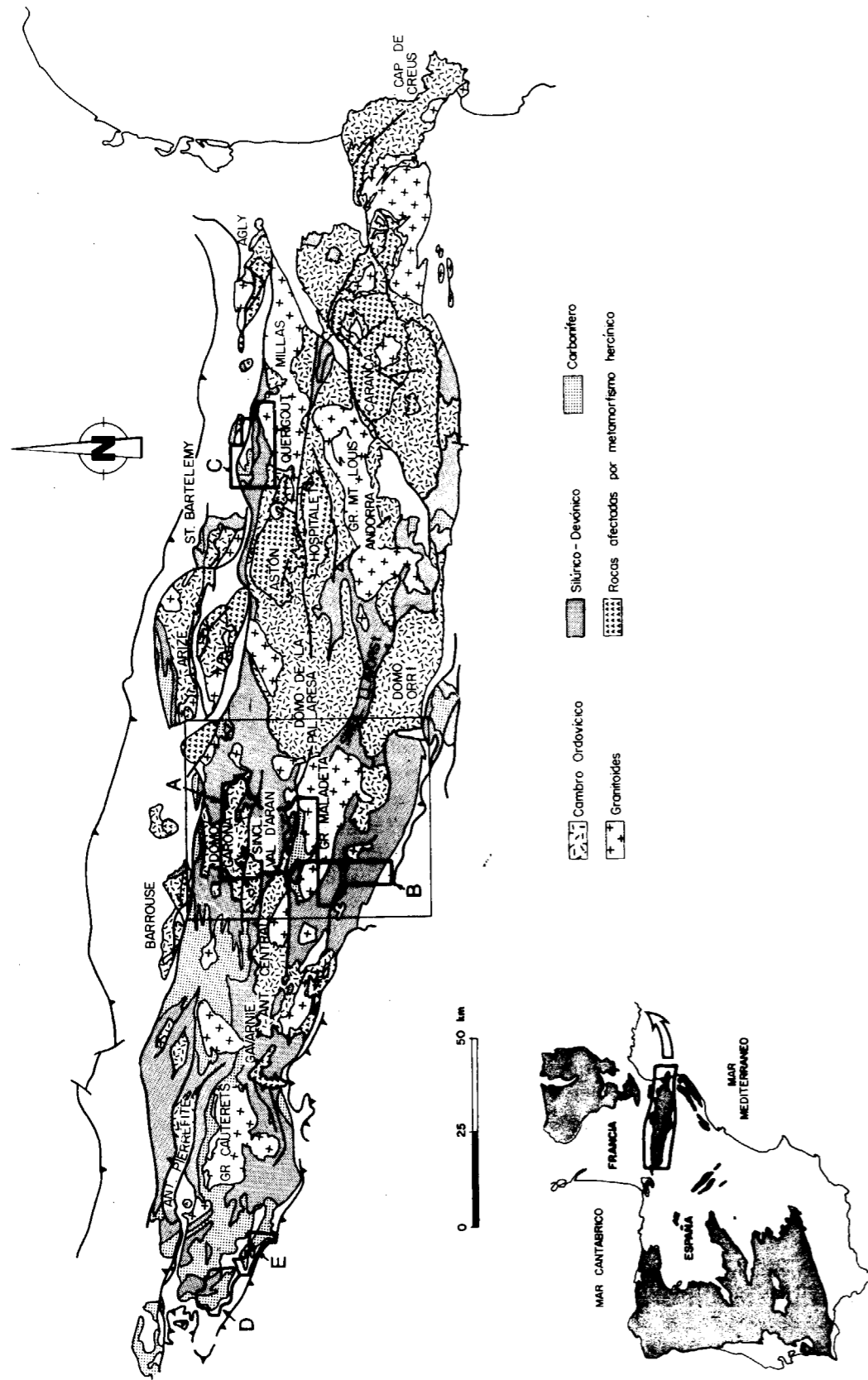


Figura 1.—Mapa geológico de la Zona Axial Pirenaica. Dentro del recuadro, que corresponde al área estudiada: A) sector correspondiente al mapa geológico núm. 1 del anexo, B) área correspondiente al mapa geológico núm. 2 del anexo, C) figura 131, D) figura 132, E) figura 133.

el oeste, a la altura del río Garona, el límite con el territorio francés se encuentra a menos de 600 m. de altura, lo que da una idea de los importantes desniveles existentes en la región (fig. 2). Por el oeste, el Valle de Arán limita con

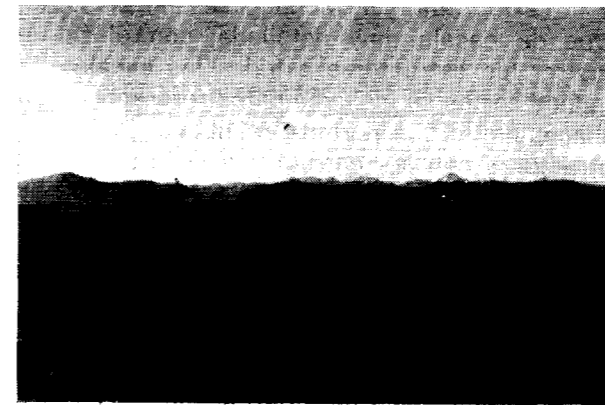


Figura 2.—Panorámica del Valle de Arán desde el Pico Montpius. En la parte central de la fotografía, a la derecha, se observa el Tuc de Mauberme.

el valle de la Pique (Francia) y por el este con la comarca del Pallaresa, donde se localiza el Pla de Beret, cuna de los ríos Garona y Noguera Pallaresa, así como el puerto de la Bonaigua. En el sur del Valle de Arán se encuentran algunas de las más altas cumbres de la Cordillera pirenaica, como son los picos Aneto (3.404 m.), Maladeta (3.308 m.), Mulleres (3.002 m.), Beciberri (3.030 m.), etc. (figs. 3 y 4). Es característico en estas zonas altas la presencia de largas y afiladas crestas que rodean glaciares, algunos muy conocidos, como el de la Maladeta-Aneto, y lagos o «estany», entre los que cabe destacar los de Cregüeña, Redó, Rius, Tort de Rius, Mar, etcétera. Esta zona alta corresponde al Macizo de la Maladeta, y es en este sector del área estudiada, donde se localiza el límite más meridional del Valle de Arán, dando paso hacia el sur a una nueva comarca, que es la de la Alta Ribagorça.

La comarca de la Alta Ribagorça se sitúa al noreste de la provincia de Huesca, y debe su nombre al río que la atraviesa, que es el Noguera Ribagorçana. Contrariamente al río Garona, el Noguera Ribagorçana vierte sus aguas hacia el

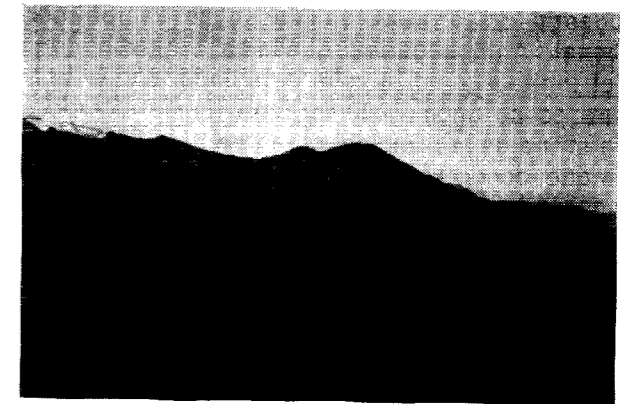


Figura 3.—Panorámica de los picos Montcorbisum y Montpius. Al fondo, a la izquierda, se aprecia el pico Maladeta. Un esquema de esta fotografía mostrando las principales estructuras aparece en la figura 76.

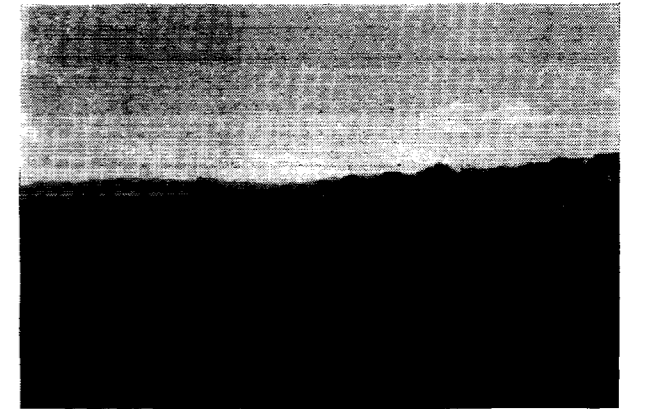


Figura 4.—Panorámica del Valle de Arán (alto y medio Arán). De izquierda a derecha (norte a sur) se observa: el río Garona, a su paso por Arties; la zona de las pistas de esquí de la Tüca; el Pico Montarto, que sobresale, y en la parte baja se aprecia la entrada a la boca norte del Túnel de Viella.

mar Mediterráneo. Este río nace al pie del Tuc de Mulleres y se dirige hacia el sur, constituyendo el límite oriental del sector meridional del área estudiada. En el límite septentrional se localiza la máxima altura de la zona, que corresponde al pico Vallibierna (3.067 m.), y que constituye el contrafuerte meridional más importante del macizo de la Maladeta. Al sur del Vallibierna nace un afluente del Noguera Ribagorçana que es el río Baliera, y corresponde al límite oc-

el oeste, a la altura del río Garona, el límite con el territorio francés se encuentra a menos de 600 m. de altura, lo que da una idea de los importantes desniveles existentes en la región (fig. 2). Por el oeste, el Valle de Arán limita con



Figura 2.—Panorámica del Valle de Arán desde el Pico Montpius. En la parte central de la fotografía, a la derecha, se observa el Tuc de Mauberme.

el valle de la Pique (Francia) y por el este con la comarca del Pallaresa, donde se localiza el Pla de Beret, cuna de los ríos Garona y Noguera Pallaresa, así como el puerto de la Bonaigua. En el sur del Valle de Arán se encuentran algunas de las más altas cumbres de la Cordillera pirenaica, como son los picos Aneto (3.404 m.), Maladeta (3.308 m.), Mulleres (3.002 m.), Beciberri (3.030 m.), etc. (figs. 3 y 4). Es característico en estas zonas altas la presencia de largas y afiladas crestas que rodean glaciares, algunos muy conocidos, como el de la Maladeta-Aneto, y lagos o «estans», entre los que cabe destacar los de Cregüña, Redó, Rius, Tort de Rius, Mar, etcétera. Esta zona alta corresponde al Macizo de la Maladeta, y es en este sector del área estudiada, donde se localiza el límite más meridional del Valle de Arán, dando paso hacia el sur a una nueva comarca, que es la de la Alta Ribagorça.

La comarca de la Alta Ribagorça se sitúa al noreste de la provincia de Huesca, y debe su nombre al río que la atraviesa, que es el Noguera Ribagorçana. Contrariamente al río Garona, el Noguera Ribagorçana vierte sus aguas hacia el

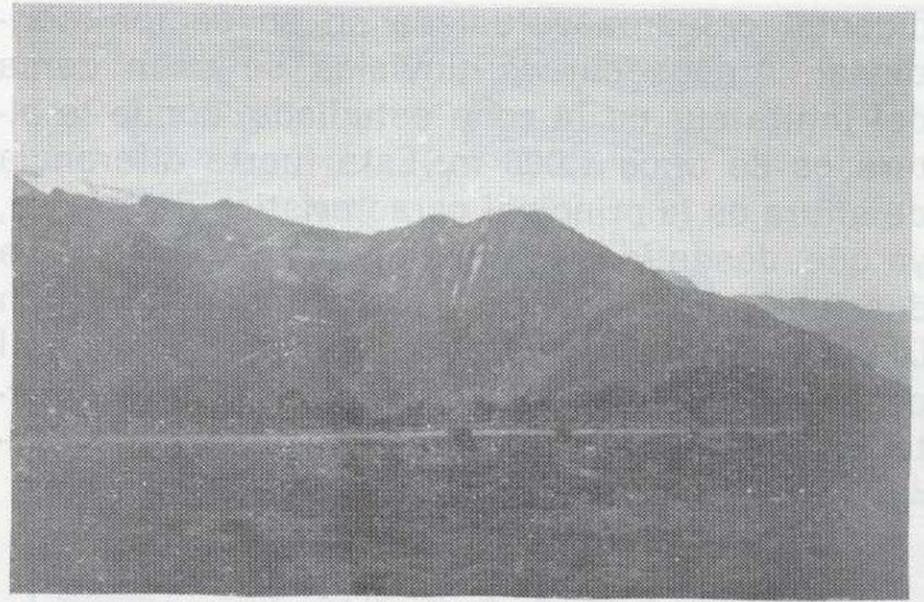


Figura 3.—Panorámica de los picos Montcorbisum y Montpius. Al fondo, a la izquierda, se aprecia el pico Maladeta. Un esquema de esta fotografía mostrando las principales estructuras aparece en la figura 76.



Figura 4.—Panorámica del Valle de Arán (alto y medio Arán). De izquierda a derecha (norte a sur) se observa: el río Garona, a su paso por Artiés; la zona de las pistas de esquí de la Tüca; el Pico Montarto, que sobresale, y en la parte baja se aprecia la entrada a la boca norte del Túnel de Viella.

mar Mediterráneo. Este río nace al pie del Tuc de Mulleres y se dirige hacia el sur, constituyendo el límite oriental del sector meridional del área estudiada. En el límite septentrional se localiza la máxima altura de la zona, que corresponde al pico Vallibierna (3.067 m.), y que constituye el contrafuerte meridional más importante del macizo de la Maladeta. Al sur del Vallibierna nace un afluente del Noguera Ribagorçana que es el río Baliera, y corresponde al límite oc-

cidental del área estudiada en su sector meridional. Ambos cursos fluviales se unen cerca del límite sur de la zona estudiada, donde la altura es de unos 1.000 m. Esta fuerte diferencia de altura es la principal característica del sector, ya que, desde las crestas del pico Vallibierna, se desciende bruscamente hacia el sur (fig. 5). En la parte occidental del Pico Villabierna, hacia el oeste, discurre el río Vallibierna que forma parte del área estudiada y desemboca en el río Esera (valle de Benasque).

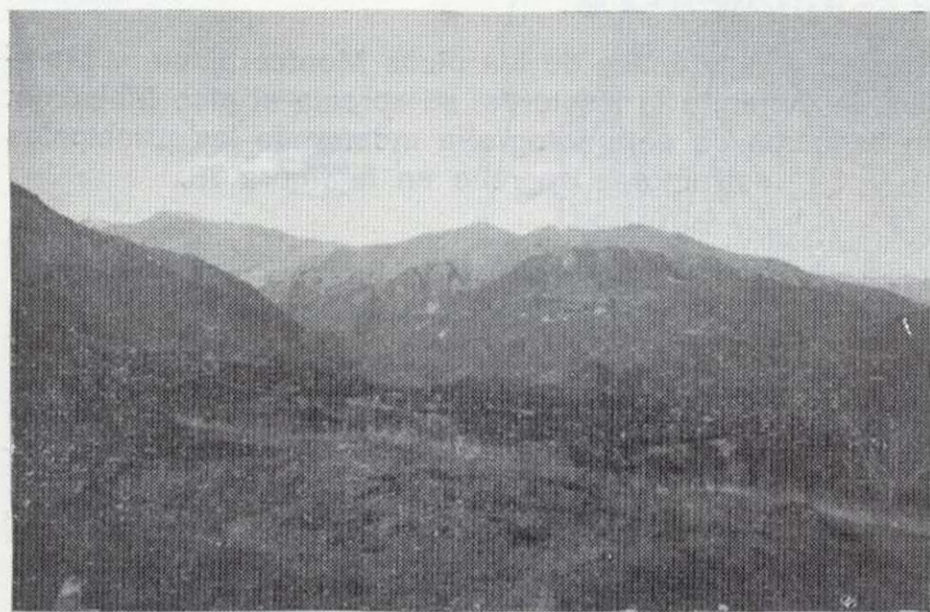


Figura 5.—Panorámica del sector de la Alta Ribagorça, desde las proximidades de Las Paules. A la izquierda se observan los picos Aneto y Vallibierna; hacia abajo se aprecia el valle del río Baliera. En la parte central de la fotografía se observa el pueblo de Castanesa.

1.2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es realizar un estudio geológico de una franja situada en la parte central de la Zona Axial pirenaica, la cual atraviesa el Valle de Arán y sector de la Alta Ribagorça (fig. 1). Con esta transversal se intenta establecer la estratigrafía de las rocas paleozoicas, apoyada en datos bioestratigráficos, que permitan elaborar un estudio tectónico. Por último, se intentará establecer una correlación de las estructuras más características de esta zona con las situadas en otros sectores de la Zona Axial y que tengan un desarrollo extensivo a toda la Cadena Pirenaica.

Para la elaboración de este trabajo se ha realizado una cartografía geológica de las diferentes unidades litoestratigráficas reconocidas. La es-

cala de la cartografía ha variado según la complejidad de la zona. Inicialmente se ha utilizado la escala 1:25.000, empleándose en ocasiones mapas más detallados. Para la presentación del trabajo se muestran mapas a escala 1:100.000, que resumen perfectamente la geología de la zona. Los cortes geológicos se han realizado a partir de la cartografía, y a menudo se han elaborado otros de escala muy detallada, con el fin de mostrar las estructuras a todas las escalas. En algunos cortes se incluyen datos referentes a las foliaciones, lo que permite relacionar las microestructuras con las estructuras de gran escala.

Para las estructuras se realiza un análisis geométrico, que da idea de los mecanismos y condiciones en que fueron formadas. A partir de criterios de superposición de estructuras y del metamorfismo, las estructuras se agrupan en episodios deformativos. En suma, se trata de establecer su secuencia de deformación.

A partir de las cartografías y elaboración de cortes geológicos se han realizado diversos estudios de las microestructuras. Así, se han analizado las características de las foliaciones y su relación con las macroestructuras y el metamorfismo. En ocasiones, se han llegado a reconocer grandes estructuras a partir del análisis microestructural, observando las relaciones entre la estratificación y las foliaciones, conociendo la polaridad de la serie. De no haber sido realizados este tipo de estudios, posiblemente algunas de estas macroestructuras habrían pasado desapercibidas. Por otra parte, se ha realizado un estudio de las foliaciones, aportando datos sobre las características y dimensiones de las mismas. Igualmente, éstas han sido clasificadas según el método de BASTIDA (1981), diferenciándose cuatro tipos principales, que son: clivaje grosero, clivaje pizarroso grosero, clivaje pizarroso y esquistosidad. El plan seguido para la consecución de estos objetivos se muestra en el cuadro de la figura 6.

1.3. DIVISION EN UNIDADES GEOLOGICAS DEL AREA ESTUDIADA

La zona estudiada corresponde a un sector de la Zona Axial pirenaica que, de norte a sur, atraviesa diversas unidades, que, teniendo en cuenta sus características estratigráficas y estruc-

cidental del área estudiada en su sector meridional. Ambos cursos fluviales se unen cerca del límite sur de la zona estudiada, donde la altura es de unos 1.000 m. Esta fuerte diferencia de altura es la principal característica del sector, ya que, desde las crestas del pico Vallibierna, se desciende bruscamente hacia el sur (fig. 5). En la parte occidental del Pico Vallibierna, hacia el oeste, discurre el río Vallibierna que forma parte del área estudiada y desemboca en el río Esera (valle de Benasque).

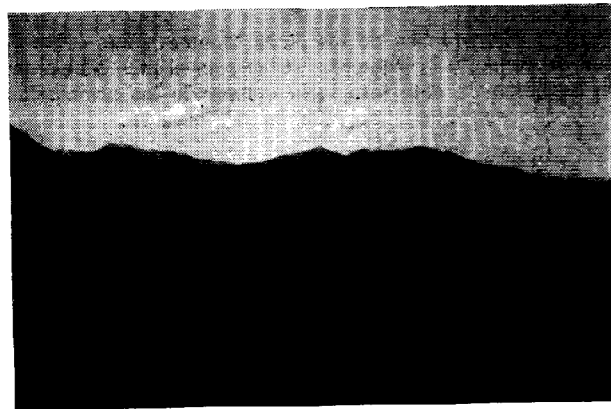


Figura 5.—Panorámica del sector de la Alta Ribagorça, desde las proximidades de Las Paules. A la izquierda se observan los picos Aneto y Vallibierna; hacia abajo se aprecia el valle del río Baliera. En la parte central de la fotografía se observa el pueblo de Castanesa.

1.2. OBJETIVOS

El principal objetivo de este trabajo es realizar un estudio geológico de una franja situada en la parte central de la Zona Axial pirenaica, la cual atraviesa el Valle de Arán y sector de la Alta Ribagorça (fig. 1). Con esta transversal se intenta establecer la estratigrafía de las rocas paleozoicas, apoyada en datos bioestratigráficos, que permitan elaborar un estudio tectónico. Por último, se intentará establecer una correlación de las estructuras más características de esta zona con las situadas en otros sectores de la Zona Axial y que tengan un desarrollo extensivo a toda la Cadena Pirenaica.

Para la elaboración de este trabajo se ha realizado una cartografía geológica de las diferentes unidades litoestratigráficas reconocidas. La es-

cala de la cartografía ha variado según la complejidad de la zona. Inicialmente se ha utilizado la escala 1:25.000, empleándose en ocasiones mapas más detallados. Para la presentación del trabajo se muestran mapas a escala 1:100.000, que resumen perfectamente la geología de la zona. Los cortes geológicos se han realizado a partir de la cartografía, y a menudo se han elaborado otros de escala muy detallada, con el fin de mostrar las estructuras a todas las escalas. En algunos cortes se incluyen datos referentes a las foliaciones, lo que permite relacionar las microestructuras con las estructuras de gran escala.

Para las estructuras se realiza un análisis geométrico, que da idea de los mecanismos y condiciones en que fueron formadas. A partir de criterios de superposición de estructuras y del metamorfismo, las estructuras se agrupan en episodios deformativos. En suma, se trata de establecer su secuencia de deformación.

A partir de las cartografías y elaboración de cortes geológicos se han realizado diversos estudios de las microestructuras. Así, se han analizado las características de las foliaciones y su relación con las macroestructuras y el metamorfismo. En ocasiones, se han llegado a reconocer grandes estructuras a partir del análisis microestructural, observando las relaciones entre la estratificación y las foliaciones, conociendo la polaridad de la serie. De no haber sido realizados este tipo de estudios, posiblemente algunas de estas macroestructuras habrían pasado desapercibidas. Por otra parte, se ha realizado un estudio de las foliaciones, aportando datos sobre las características y dimensiones de las mismas. Igualmente, éstas han sido clasificadas según el método de BASTIDA (1981), diferenciándose cuatro tipos principales, que son: clivaje grosero, clivaje pizarroso grosero, clivaje pizarroso y esquistosidad. El plan seguido para la consecución de estos objetivos se muestra en el cuadro de la figura 6.

1.3. DIVISION EN UNIDADES GEOLOGICAS DEL AREA ESTUDIADA

La zona estudiada corresponde a un sector de la Zona Axial pirenaica que, de norte a sur, atraviesa diversas unidades, que, teniendo en cuenta sus características estratigráficas y estruc-

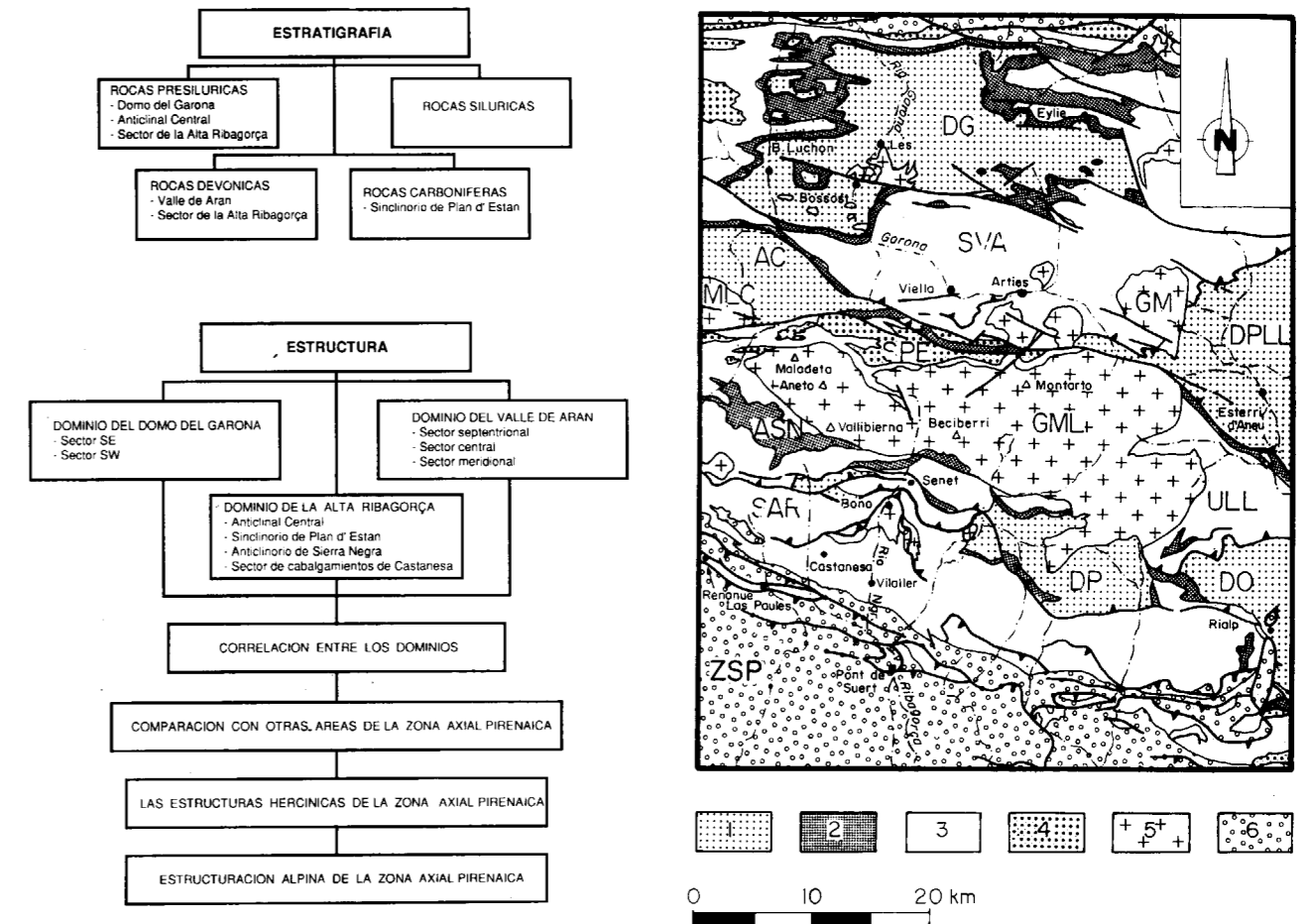


Figura 6.—Cuadro en el que se muestra el plan seguido para la elaboración de este trabajo.

turales, son las siguientes: Domo del Garona (de SITTER y ZWART, 1962), Sinclinorio del Valle de Arán (DALLONI, 1930), Anticlinal Central (KLEINSMIEDE, 1960), Sinclinorio de Plan d'Estan (DALLONI, 1910), Granodiorita de la Maladeta, Anticlinorio de Sierra Negra (ARCHE, 1971), y sector de cabalgamientos de Castanesa (fig. 7). En esta última zona se diferencian diversas unidades cabalgantes que son la Unidad de Senet, Unidad de Bono y Unidad de Rialp, que configuran el apilamiento antiformal («antiformal stack») típico de la parte meridional de la Zona Axial pirenaica, reconocido por diversos autores (PARISH, 1984; WILLIAMS y FISHER, 1984; WILLIAMS, 1985; DERAMOND et al., 1985; MUÑOZ, 1985, etc.).

En esta transversal se atraviesan materiales pa-

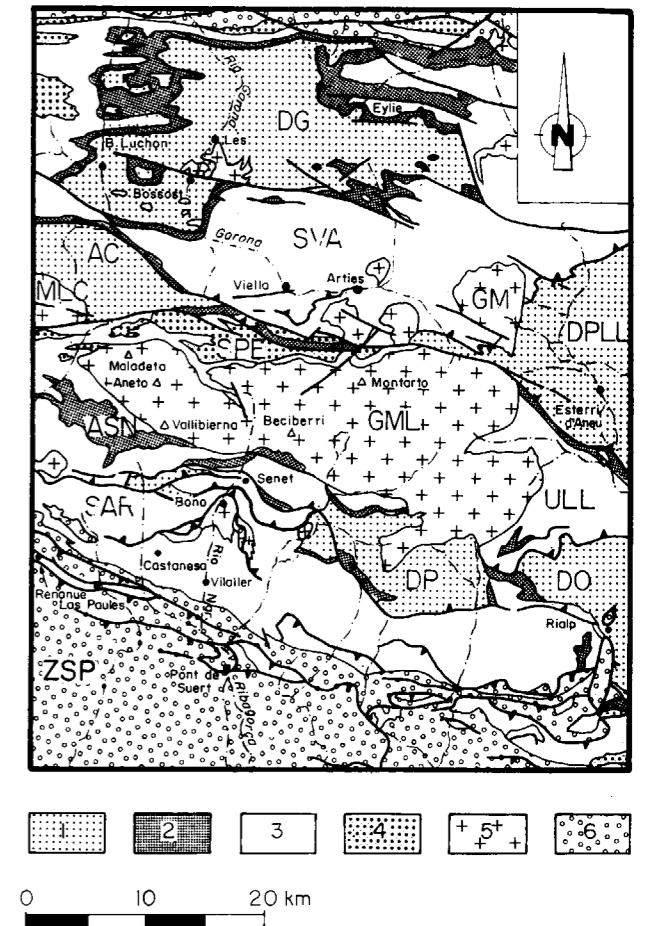


Figura 7.—Mapa geológico del sector de la Zona Axial Pirenaica que ha sido objeto de estudio. 1) Rocas presilúricas. 2) Rocas silúricas. 3) Rocas devónicas. 4) Rocas carboníferas. 5) Rocas graníticas. 6) Rocas mesozoico-terciarias. AC) Anticlinal Central. ASN) Anticlinorio de Sierra Negra. DG) Domo del Garona. DO) Domo de l'Orri. DPLL) Domo de La Pallaresa. DP) Domo de Pallasos. GML) Granodiorita de la Maladeta. GM) Granodiorita de Marimanya. MLC) Macizo de Lys-Caillouas. SAR) Sector de la Alta Ribagorça. SPE) Sinclinorio de Plan d'Estan. SVA) Sinclinorio del Valle de Arán. ULL) Unidad de l.lavorsí. ZSP) Zona Surpirenaica.

leozoicos que tienen una edad comprendida entre el Ordovícico (posiblemente Cámbrico) y el Carbonífero. Además, aparecen pequeños afloramientos de rocas permo-triásicas, sobre todo en las zonas más meridionales.

Para la elaboración de este trabajo la zona estudiada será dividida en tres dominios, con características estructurales y estratigráficas diferen-

tes. El más septentrional de ellos corresponde al Domo del Garona, en el que afloran materiales presilúricos afectados por una importante deformación y metamorfismo hercínicos. Al sur se sitúa el dominio del Valle de Arán, que corresponde principalmente al Sinclinorio del Valle de Arán, donde la estructura hercínica es diferente a la del Domo del Garona y el metamorfismo menos intenso. Por último, el tercer dominio es semejante al anterior en cuanto a las estructuras y grado de metamorfismo hercínicos se refiere, y corresponde al dominio de la Alta Ribagorça. Este dominio se ha diferenciado del Sinclinorio del Valle de Arán basándose en que el dominio de la Alta Ribagorça corresponde al autóctono del cabalgamiento de Gavarnie, que es, posiblemente, la estructura alpina más importantes reconocible en la Zona Axial pirenaica. Por otra parte, en la Alta Ribagorça se reconocen numerosas estructuras alpinas, lo que contrasta con la estructura del Domo del Garona y del Sinclinorio del Valle de Arán.

Desde el punto de vista de la estructura hercínica, el Domo del Garona se caracteriza por la formación de estructuras acostadas desarrolladas próximas a áreas afectadas por un intenso metamorfismo hercínico. Por el contrario, en los otros dos dominios predominan las estructuras verticales, en áreas epimetamórficas. En comparación con el resto de la Zona Axial, el Domo del Garona es semejante a los sectores más orientales de la Zona Axial, donde afloran rocas más profundas afectadas por estructuras acostadas en áreas de metamorfismo intenso. Por otra parte, el Sinclinorio del Valle de Arán y el Dominio de la Alta Ribagorça se asemejan más a los sectores meridionales y occidentales de la Zona Axial, donde afloran rocas paleozoicas, en general más modernas, deformadas por estructuras subverticales y afectadas por un metamorfismo de bajo grado.

Algunos de los dominios mencionados se mantendrán para la descripción estratigráfica y estructural, aunque en ocasiones se hace necesaria la subdivisión de los mismos, bien sea por sus características estratigráficas o estructurales.

1.4. ANTECEDENTES

Desde la segunda mitad del siglo XIX existen

numerosas referencias sobre la geología de la zona estudiada, debido seguramente a la presencia, en el Domo del Garona, de numerosas mineralizaciones de Zn-Pb que fueron explotadas durante estos dos últimos siglos.

En este capítulo se hace alusión a algunas de las referencias de carácter más general que afectan al área estudiada. Las referencias de otros autores a temas concretos serán recogidas posteriormente dentro de cada capítulo.

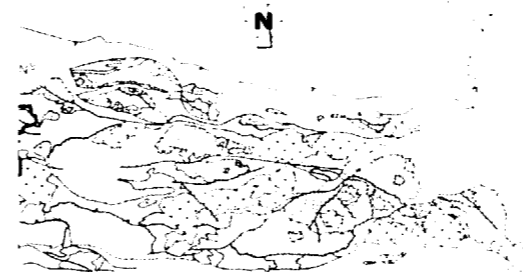
Los primeros trabajos sobre la zona estudiada sirvieron para reconocer a grandes rasgos los principales materiales que afloran. Asimismo, en estos trabajos se recogen numerosos datos relativos a la edad de estos materiales, aportándose largas listas de fósiles. Otro aspecto importante lo constituyen los mapas geológicos que se aportan, que a pesar de su sencillez dan pie a reconocer las estructuras más importantes de la región. Algunos de los autores más significativos de esta época fueron DUROCHER (1844), LEYMERIE (1862, 1870 y 1881), CARALP (1888), ROUSSEL (1892, 1893 y 1904), BERTRAND (1907 y 1910), DALLONI (1910 y 1930) y SCHMIDT (1981), entre otros.

Posteriormente, en el Domo del Garona fueron elaborados algunos trabajos que, en líneas generales, establecen la estratigrafía de las rocas presilúricas (DURAND y RAGUIN, 1943; VISVANATH, 1957; DESTOMBES, 1958). También en esta misma época comenzaron a trabajar en el área estudiada los geólogos de la Escuela holandesa de Leiden, que realizaron un primer intento para clarificar la estratigrafía, estructura y metamorfismo de la zona; entre estos cabe citar a BARTHOLOME (1953), FRANCKEN (1954), DE SITTER (1953 y 1954 a y b), VAN ALPHEN (1956) y SNOEP (1956). Con estos datos, así como con los de CALEMBERT (1951), ya es posible reconocer los rasgos estructurales más significativos de la zona.

A partir del año 1960 el trabajo de los geólogos de la Escuela holandesa de Leiden adquirió una nueva dimensión, con la publicación de mapas geológicos a escala 1:50.000, acompañados de amplios estudios sobre la estratigrafía y estructura (KLEINSMIEDE, 1960; DE SITTER y ZWART, 1962; MEY, 1967 y 1968; WENNEKERS, 1968; BOSCHMA, 1963). La relación entre el metamorfismo y la estructura fue ampliamente tratada



MAPA GEOLOGICO N.º 2
(Sector de la Alta Ribagorça)



Corte A-B

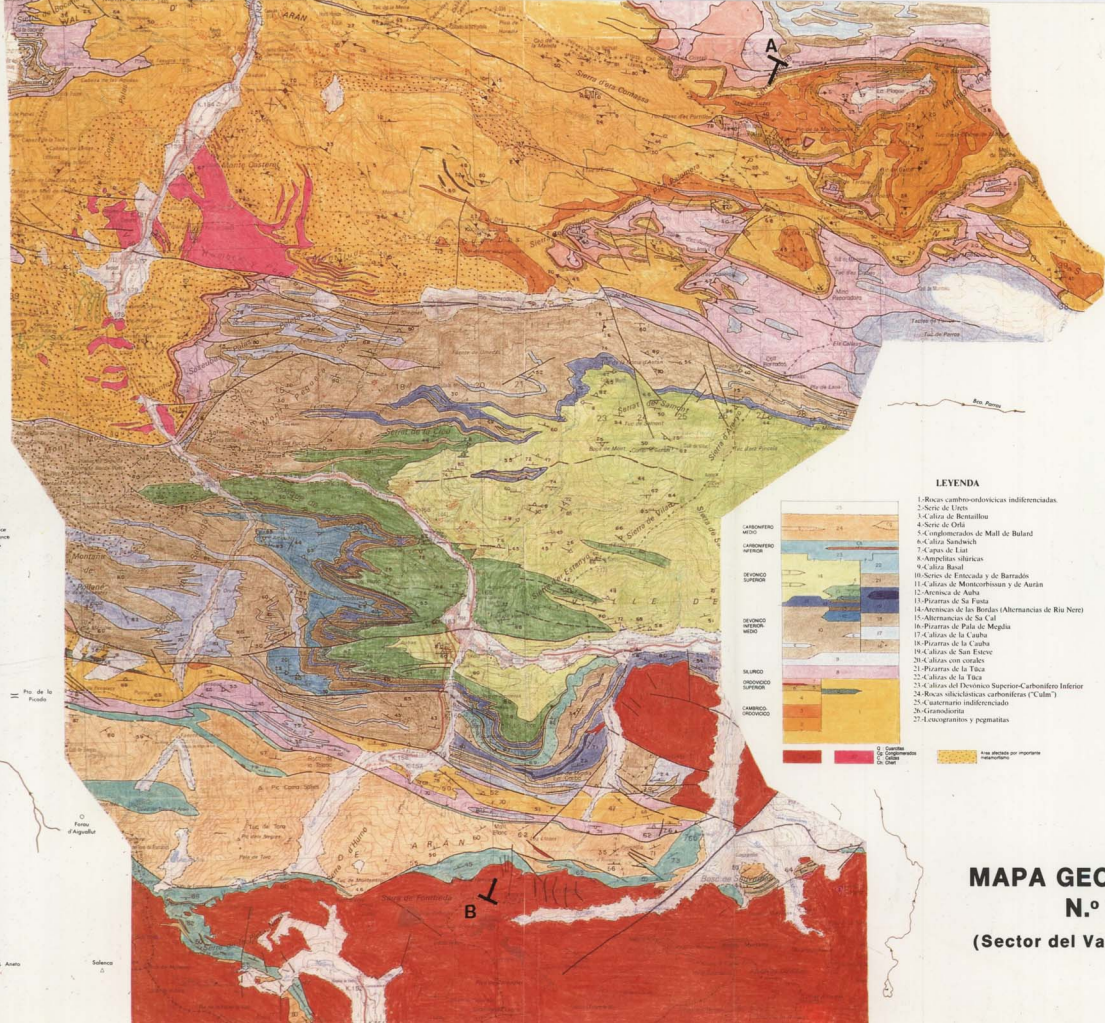
Corte C-D

SE-N

Cabo Salines

Vallibrama

NW



MAPA GEOLOGICO N.º 1
(Sector del Valle de Arán)

LEYENDA

- 1-Rocas cambrio-ondivicas indiferenciadas
- 2-Serie de Utsis
- 3-Calza de Bontailou
- 4-Serie de Oria
- 5-Complejones de Mail de Buland
- 6-Calza Sandwich
- 7-Capas de Liat
- 8-Ampelias silíceas
- 9-Calza Basal
- 10-Serie de Enicada y de Berrada
- 11-Calzas de Montebous y de Aurin
- 12-Arenas de Auba
- 13-Pizares de Sa Franca
- 14-Arenas de las Bordes (Alternancias de Rio Nere)
- 15-Alternancias de Sa Cal
- 16-Pizares de Pala de Magda
- 17-Calzas de la Caub
- 18-Pizares de la Cauba
- 19-Calzas de Sant Franec
- 20-Calzas con corales
- 21-Pizares de la Taca
- 22-Calzas de la Taca
- 23-Altras del Tecomus Superior Carbonífero Inferior
- 24-Rocas oolíticas carboníferas ("Calm")
- 25- Cuaternario indiferenciado
- 26-Cronocronista
- 27-Locogranitos y pegmatitas

LEYENDA

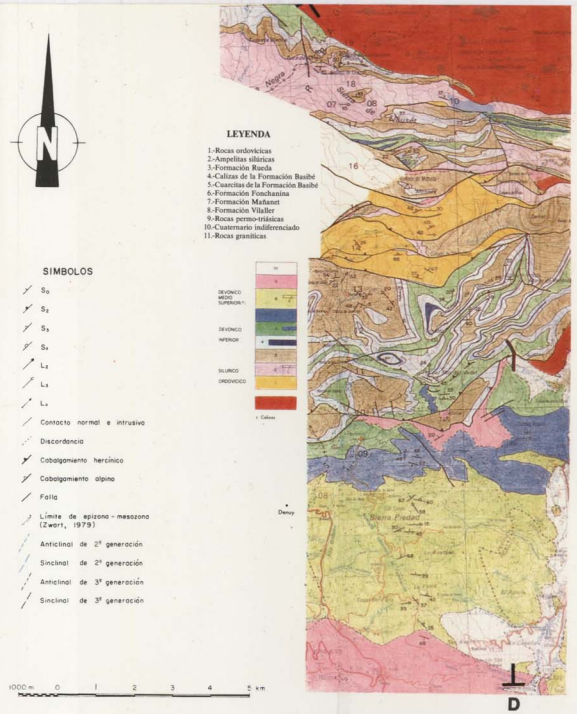
1-Rocas ondivicas
2-Ampelias silíceas
3-Formación Basal
4-Calzas de la Formación Basal
5-Cuaternario de la Formación Basal
6-Formación Foschamira
7-Formación Malanet
8-Formación Vialler
9-Rocas permotriásicas
10-Cuaternario indiferenciado
11-Rocas graníticas

LEYENDA

1-Rocas cambrio-ondivicas indiferenciadas
2-Serie de Utsis
3-Calza de Bontailou
4-Serie de Oria
5-Complejones de Mail de Buland
6-Calza Sandwich
7-Capas de Liat
8-Ampelias silíceas
9-Calza Basal
10-Serie de Enicada y de Berrada
11-Calzas de Montebous y de Aurin
12-Arenas de Auba
13-Pizares de Sa Franca
14-Arenas de las Bordes (Alternancias de Rio Nere)
15-Alternancias de Sa Cal
16-Pizares de Pala de Magda
17-Calzas de la Caub
18-Pizares de la Cauba
19-Calzas de Sant Franec
20-Calzas con corales
21-Pizares de la Taca
22-Calzas de la Taca
23-Altras del Tecomus Superior Carbonífero Inferior
24-Rocas oolíticas carboníferas ("Calm")
25- Cuaternario indiferenciado
26-Cronocronista
27-Locogranitos y pegmatitas

LEYENDA

1-Rocas cambrio-ondivicas indiferenciadas
2-Serie de Utsis
3-Calza de Bontailou
4-Serie de Oria
5-Complejones de Mail de Buland
6-Calza Sandwich
7-Capas de Liat
8-Ampelias silíceas
9-Calza Basal
10-Serie de Enicada y de Berrada
11-Calzas de Montebous y de Aurin
12-Arenas de Auba
13-Pizares de Sa Franca
14-Arenas de las Bordes (Alternancias de Rio Nere)
15-Alternancias de Sa Cal
16-Pizares de Pala de Magda
17-Calzas de la Caub
18-Pizares de la Cauba
19-Calzas de Sant Franec
20-Calzas con corales
21-Pizares de la Taca
22-Calzas de la Taca
23-Altras del Tecomus Superior Carbonífero Inferior
24-Rocas oolíticas carboníferas ("Calm")
25- Cuaternario indiferenciado
26-Cronocronista
27-Locogranitos y pegmatitas



MAPA GEOLOGICO N.º 2
(Sector de la Alta Ribagorça)

LEYENDA

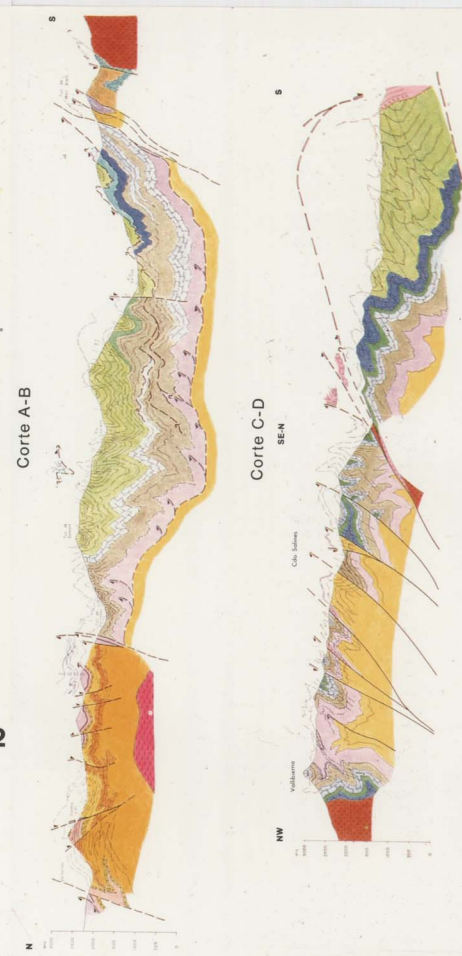
- 1-Rocas ondivicas
- 2-Ampelias silíceas
- 3-Formación Basal
- 4-Calzas de la Formación Basal
- 5-Cuaternario de la Formación Basal
- 6-Formación Foschamira
- 7-Formación Malanet
- 8-Formación Vialler
- 9-Rocas permotriásicas
- 10-Cuaternario indiferenciado
- 11-Rocas graníticas

LEYENDA

1-Rocas cambrio-ondivicas indiferenciadas
2-Serie de Utsis
3-Calza de Bontailou
4-Serie de Oria
5-Complejones de Mail de Buland
6-Calza Sandwich
7-Capas de Liat
8-Ampelias silíceas
9-Calza Basal
10-Serie de Enicada y de Berrada
11-Calzas de Montebous y de Aurin
12-Arenas de Auba
13-Pizares de Sa Franca
14-Arenas de las Bordes (Alternancias de Rio Nere)
15-Alternancias de Sa Cal
16-Pizares de Pala de Magda
17-Calzas de la Caub
18-Pizares de la Cauba
19-Calzas de Sant Franec
20-Calzas con corales
21-Pizares de la Taca
22-Calzas de la Taca
23-Altras del Tecomus Superior Carbonífero Inferior
24-Rocas oolíticas carboníferas ("Calm")
25- Cuaternario indiferenciado
26-Cronocronista
27-Locogranitos y pegmatitas

LEYENDA

1-Rocas cambrio-ondivicas indiferenciadas
2-Serie de Utsis
3-Calza de Bontailou
4-Serie de Oria
5-Complejones de Mail de Buland
6-Calza Sandwich
7-Capas de Liat
8-Ampelias silíceas
9-Calza Basal
10-Serie de Enicada y de Berrada
11-Calzas de Montebous y de Aurin
12-Arenas de Auba
13-Pizares de Sa Franca
14-Arenas de las Bordes (Alternancias de Rio Nere)
15-Alternancias de Sa Cal
16-Pizares de Pala de Magda
17-Calzas de la Caub
18-Pizares de la Cauba
19-Calzas de Sant Franec
20-Calzas con corales
21-Pizares de la Taca
22-Calzas de la Taca
23-Altras del Tecomus Superior Carbonífero Inferior
24-Rocas oolíticas carboníferas ("Calm")
25- Cuaternario indiferenciado
26-Cronocronista
27-Locogranitos y pegmatitas



tes. El más septentrional de ellos corresponde al Domo del Garona, en el que afloran materiales presilúricos afectados por una importante deformación y metamorfismo hercínico. Al sur se sitúa el dominio del Valle de Arán, que corresponde principalmente al Sinclinal del Valle de Arán, donde la estructura hercínica es diferente a la del Domo del Garona y el metamorfismo menos intenso. Por último, el tercer dominio es semejante al anterior en cuanto a las estructuras y grado de metamorfismo hercínico se refiere, y corresponde al dominio de la Alta Ribagorça. Este dominio se ha diferenciado del Sinclinal del Valle de Arán basándose en que el dominio de la Alta Ribagorça corresponde al autóctono del cabalgamiento de Gavarnie, que es, posiblemente, la estructura alpina más importantes reconocible en la Zona Axial pirenaica. Por otra parte, en la Alta Ribagorça se reconocen numerosas estructuras alpinas, lo que contrasta con la estructura del Domo del Garona y del Sinclinal del Valle de Arán.

Desde el punto de vista de la estructura hercínica, el Domo del Garona se caracteriza por la formación de estructuras acostadas desarrolladas próximas a áreas afectadas por un intenso metamorfismo hercínico. Por el contrario, en los otros dos dominios predominan las estructuras verticales, en áreas epimetamórficas. En comparación con el resto de la Zona Axial, el Domo del Garona es semejante a los sectores más orientales de la Zona Axial, donde afloran rocas más profundas afectadas por estructuras acostadas en áreas de metamorfismo intenso. Por otra parte, el Sinclinal del Valle de Arán y el Dominio de la Alta Ribagorça se asemejan más a los sectores meridionales y occidentales de la Zona Axial, donde afloran rocas paleozoicas, en general más modernas, deformadas por estructuras subverticales y afectadas por un metamorfismo de bajo grado.

Algunos de los dominios mencionados se mantendrán para la descripción estratigráfica y estructural, aunque en ocasiones se hace necesaria la subdivisión de los mismos, bien sea por sus características estratigráficas o estructurales.

1.4. ANTECEDENTES

Desde la segunda mitad del siglo XIX existen

numerosas referencias sobre la geología de la zona estudiada, debido seguramente a la presencia, en el Domo del Garona, de numerosas mineralizaciones de Zn-Pb que fueron explotadas durante estos dos últimos siglos.

En este capítulo se hace alusión a algunas de las referencias de carácter más general que afectan al área estudiada. Las referencias de otros autores a temas concretos serán recogidas posteriormente dentro de cada capítulo.

Los primeros trabajos sobre la zona estudiada sirvieron para reconocer a grandes rasgos los principales materiales que afloran. Asimismo, en estos trabajos se recogen numerosos datos relativos a la edad de estos materiales, aportándose largas listas de fósiles. Otro aspecto importante lo constituyen los mapas geológicos que se aportan, que a pesar de su sencillez dan pie a reconocer las estructuras más importantes de la región. Algunos de los autores más significativos de esta época fueron DUROCHER (1844), LEYMERIE (1862, 1870 y 1881), CARALP (1888), ROUSSEL (1892, 1893 y 1904), BERTRAND (1907 y 1910), DALLONI (1910 y 1930) y SCHMIDT (1981), entre otros.

Posteriormente, en el Domo del Garona fueron elaborados algunos trabajos que, en líneas generales, establecen la estratigrafía de las rocas presilúricas (DURAND y RAGUIN, 1943; VISVANATH, 1957; DESTOMBES, 1958). También en esta misma época comenzaron a trabajar en el área estudiada los geólogos de la Escuela holandesa de Leiden, que realizaron un primer intento para clarificar la estratigrafía, estructura y metamorfismo de la zona; entre estos cabe citar a BARTHOLOME (1953), FRANCKEN (1954), DE SITTER (1953 y 1954 a y b), VAN ALPHEN (1956) y SNOEP (1956). Con estos datos, así como con los de CALEMBERT (1951), ya es posible reconocer los rasgos estructurales más significativos de la zona.

A partir del año 1960 el trabajo de los geólogos de la Escuela holandesa de Leiden adquirió una nueva dimensión, con la publicación de mapas geológicos a escala 1:50.000, acompañados de amplios estudios sobre la estratigrafía y estructura (KLEINSMIEDE, 1960; DE SITTER y ZWART, 1962; MEY, 1967 y 1968; WENNEKERS, 1968; BOSCHMA, 1963). La relación entre el metamorfismo y la estructura fue ampliamente tratada

por ZWART (1958, 1960, 1962, 1963 a y b) y tuvo gran repercusión, superando ampliamente los límites de un estudio puramente regional. Este extenso estudio geológico fue también realizado en áreas próximas por otros autores como ZANDVLIET (1960), HARTEVELT (1970 y 1971), BOERSMA (1973), ZWART (1965), ROBERTI (1970), ZWART y ROBERTI (1976), entre otros. Todo este trabajo fue posteriormente sintetizado por ZWART (1979).

Aproximadamente en esta misma época fueron publicados otros trabajos, de carácter más individual, referentes al área estudiada. Así, WATERLOT (1969) elaboró un estudio estratigráfico de los materiales carboníferos del Sinclinal de Plan d'Estan. Por otro lado, DONNOT y GUERANGE (1969) realizaron un corte geológico por el Hospice de France, situado al oeste del área estudiada, en el que se aportan importantes datos sobre la estratigrafía y estructura del Anticlinal Central. Otra importante publicación es la de MATTE (1969), que tuvo gran repercusión en lo referente a la interpretación de la estructura de la zona estudiada. Otra aportación de carácter local es la realizada por BOISSONNAS (1972), que realizó el mapa geológico del Tuc de Mauberge (parte norte del área estudiada).

Más al sur, fuera ya de la Zona Axial, fue elaborado el trabajo de SEURET (1972). Este estudio, aunque no tuvo gran repercusión en lo referente a los materiales paleozoicos, a excepción de la zona de los Nogueras, es de gran importancia en el análisis de las estructuras alpinas.

Existen otras aportaciones que fueron realizadas principalmente sobre las mineralizaciones de Zn-Pb que se encuentran en el Domo del Garona. Unos autores apoyan un origen sedimentario, así como una posterior removilización de algunas de estas mineralizaciones (CARDELLACH, 1977; CARDELLACH y ALVAREZ-PEREZ, 1979; CARDELLACH et al., 1982; ALVAREZ-PEREZ, 1980 y 1981; FERT, 1976; GUERIN, 1979; VERNHET, 1981; POUIT, 1985 y 1986, entre otros), y otros un origen filoniano (VISVANATH, 1957 y DE GRAMONT, 1966). Más recientemente, algunos de estos yacimientos han sido relacionados con cabalgamientos (ALONSO, 1976; MARTINEZ et al., 1982). De entre estos trabajos, el de ALONSO (1979) posee gran interés por los importantes datos que aporta referentes a la estratigrafía y estructura del Domo del Garona.

Aunque se salen ya del tema que es objeto de estudio, otros trabajos de interés dentro del área estudiada fueron los elaborados por CHARLET (1971, 1979, 1982). En ellos se muestra una cartografía de las diferentes facies observadas en la granodiorita de la Maladeta, así como algunos aspectos estructurales de interés.

Recientemente han sido publicados diversos trabajos sobre la estructura, algunos de carácter muy local y otros interpretativos de ámbito regional. Entre ellos pueden citarse los de WILLIAMS (1985), ZWART (1986), VAN DEN EECKHOUT y ZWART (1988), POUGET (1988), POUGET et al. (1988), MATTE y ZU-XHI (1988) y McCLELLAND y McCAIG (1989).

2. ESTRATIGRAFIA

El área objeto de este estudio se encuentra ocupada fundamentalmente por materiales devónicos, bajo los cuales se reconoce una estrecha banda de rocas silúricas generalizada en toda la zona (fig. 7 y mapas geológicos núms. 1 y 2). En los núcleos de estructuras tales como el Domo del Garona y el Anticlinal Central se sitúan afloramientos importantes de rocas presilúricas. Las únicas rocas carboníferas que existen se localizan en el núcleo del Sinclinal de Plan d'Estan. El límite sur del área estudiada queda establecido por rocas pérmicas y mesozoicas dispuestas discordantemente sobre las rocas metasedimentarias precarboníferas. El límite norte viene marcado por la Falla Norpirenaica, que separa los metasedimentos paleozoicos de la Zona Axial pirenaica de rocas mesozoicas (figs. 1 y 7). Ya que las características sedimentarias de las rocas normalmente se encuentran preservadas, se utilizará terminología de rocas sedimentarias en vez de nomenclatura de rocas metamórficas, pese a que las rocas se encuentren afectadas por un metamorfismo generalizado en toda la zona. Por otra parte, los espesores serán aproximados en la mayoría de las series que se describirán en los diferentes epígrafes del capítulo de estratigrafía, ya que existen serias dificultades para realizar medidas precisas. El principal motivo para esta limitación es la existencia de una importante deformación interna con desarrollo de clivajes penetrativos.

Los materiales presilúricos con una mayor exten-

sion afloran al norte del área estudiada, en el Domo del Garona. Están caracterizados por una sucesión predominantemente siliciclástica, formada principalmente por cuarcitas y lutitas. Entre esta sucesión se intercala un grueso nivel de calizas conocido con el nombre de Caliza de Bentailou o «Calcaire Métallifère», denominación debida a las importantes mineralizaciones de Zn-Pb que a ella se asocian. Sobre estos materiales se apoya discordantemente una sucesión conglomerática, microconglomerática y pizarrosa, atribuida por DESTOMBES (1952, 1958) y VISVANATH (1957) al Ordovícico Superior. Discordancias de esta edad fueron puestas de manifiesto por SANTANACH (1972 a y b), entre otros autores, en el Pirineo oriental. Hasta el momento de la realización de este trabajo, en la zona estudiada, la sucesión presilúrica del Domo del Garona se encontraba poco estudiada, siendo el trabajo de ALONSO (1979) el único en donde a partir de una cartografía geológica del sector suroriental del Domo del Garona, se elabora una sucesión estratigráfica en la que se distinguen una serie de unidades litoestratigráficas principalmente del Ordovícico Superior. En el presente trabajo se utilizará esta sucesión estratigráfica y se ampliará su estudio, sobre todo en los tramos inferiores de la serie, precaradociense). Así, a partir de esta columna estratigráfica, de la cartografía geológica y del estudio estructural, se ha puesto en evidencia la existencia de la discordancia del Ordovícico Superior en el Domo del Garona, habiendo sido posible observar cómo los conglomerados caradocienses truncan a las unidades infrayacentes.

En el núcleo del Anticlinal Central (fig. 7 y mapa geológico núm. 1) puede reconocerse otra serie de afloramientos de rocas presilúricas, que, en general, son de escasas dimensiones y disminuyen en importancia hacia el este. Se trata, básicamente, de lutitas, cuarcitas y, ocasionalmente, delgados niveles de calizas. El estudio estratigráfico de estas rocas fue realizado por DONNOT y GUERANGE (1969) y BOUQUET et al. (1987) en la zona del Hospice de France (al oeste del área estudiada) y sus datos han sido empleados en este trabajo.

Por último, también existen pequeños afloramientos de materiales presilúricos en la región más meridional, correspondiente al sector de la Alta Ribagorça. Se trata de una serie cuarcítico-

lutítica, en la que se intercalan abundantes capas de calizas. MEY (1967, 1968) las atribuyó al Ordovícico Superior debido a su similitud con los materiales de áreas más orientales, como es el caso del Domo de Orri, donde se conocía su edad a partir de datos paleontológicos.

Las rocas silúricas afloran en prácticamente la totalidad del área estudiada. En general, están representadas por lutitas ampelíticas con alto contenido en piritita y algunas intercalaciones de calizas con abundantes ortocerátidos. En el Anticlinorio de Sierra Negra es donde mejores afloramientos existen de estas rocas. Su estudio estratigráfico y paleontológico fue realizado por DEGARDIN (1977, 1978) y DEGARDIN y PARIS (1978). En algunos sectores situados al este del Valle de Arán, como son los picos Moredó y Cuenca, en el borde oriental del Granito de Marimanya, afloran calizas masivas de varios centímetros de metros de espesor, sobre las pizarras ampelíticas. Estas rocas han sido datadas con conodontos por LOSANTOS et al. (1986), obteniendo una edad silúrica para los tramos basales.

Las rocas del Devónico afloran también en la totalidad del área estudiada, siendo especialmente llamativos los cambios litológicos que se pueden observar. En el Sinclinorio del Valle de Arán la sucesión devónica tiene como principal característica el gran desarrollo de rocas siliciclásticas. Estas fueron inicialmente atribuidas tanto al Silúrico (CARALP, 1888, y SCHMIDT, 1931) como al Carbonífero (CAREZ, 1903-1909; BERTRAND, 1907; DALLONI, 1930, y CALEMBERT, 1951). Más recientemente, fueron atribuidas al Devónico (SNOEP, 1956) y fueron denominadas «Areniscas de las Bordas». El estudio de estas rocas devónicas del Valle de Arán fue realizado por KLEINSMIEDE (1960), quien levantó la columna estratigráfica para esta zona. A grandes rasgos reconoció dos tramos: uno inferior, calcáreo-pizarroso, y otro superior, siliciclástico («Areniscas de las Bordas»). KLEINSMIEDE (1960) distinguió una serie de unidades litoestratigráficas que tan sólo han podido ser reconocidas en la zona sur del Sinclinorio del Valle de Arán. En el flanco sur del sinclinorio, hacia su parte oriental, no se observa la presencia de rocas siliciclásticas y prácticamente toda la sucesión devónica está constituida por materiales calcáreo-lutíticos (sucesión de la Tüca), que no habían sido descritos anterior-

mente. A la vista de los datos anteriores (principalmente de los de KLEINSMIEDE, 1960), en el presente trabajo se elaborarán varias sucesiones estratigráficas y un esquema de correlación, con objeto de evidenciar los importantes cambios laterales de facies que existen. Hasta el momento actual existe una gran escasez de datos cronoestratigráficos, lo que dificulta seriamente la correlación entre las diferentes sucesiones devónicas. Por este motivo, paralelamente a la elaboración de este trabajo, se ha realizado un estudio paleontológico, mediante el cual se ha podido acotar la edad de parte de las sucesiones estratigráficas, así como de diversos niveles guía, lo que ha facilitado la correlación entre las series.

Otra área con un importante afloramiento de rocas devónicas es el sector de la Alta Ribagorça (fig. 7 y mapa geológico núm. 2). Aquí, la sucesión fue estudiada por MEY (1967 y 1968). Es importante destacar que inicialmente la parte alta de esta serie fue atribuida al Carbonífero (MEY, 1967 y 1968; ARCHE, 1971, etc.). Posteriormente, RIOS (1977), correlacionando las facies que se observaban y ayudado por los datos de edad de que disponía, atribuyó estas rocas al Devónico. En el presente trabajo se incluirán algunos datos novedosos de esta sucesión estratigráfica, así como el estudio paleontológico de algunas de las formaciones, que incorporan precisiones referentes a su edad.

El estudio paleontológico de las rocas devónicas se ha basado principalmente en los conodontos, que han sido estudiados por Susana GARCIA-LOPEZ, del Departamento de Geología (Área de Paleontología), de la Universidad de Oviedo.

Por último, al sur del Valle de Arán, en el núcleo del Sinclinorio de Plan d'Estan (fig. 7), afloran materiales turbidíticos, que han sido datados como carboníferos. Estos sedimentos fueron estudiados por WATERLOT (1969).

El estudio de la estratigrafía del área estudiada se realizará separadamente para los sistemas Cámbrico-Ordovícico, Silúrico, Devónico y Carbonífero.

2.1. ESTRATIGRAFIA DE LA SUCESION PRESILURICA

Se han reconocido tres zonas donde afloran ma-

teriales presilúricos, que, de norte a sur, son: el Domo del Garona, el Anticlinal Central y el sector de la Alta Ribagorça (fig. 7).

2.1.1. La sucesión presilúrica del Domo del Garona

Es aquí donde aflora la serie cambro (?) - ordovícica mejor representada en toda el área estudiada, y que de forma sintetizada se muestra en la figura 8. Fue estudiada por GARCIA-SANSEGUNDO y ALONSO (1989) y a grandes rasgos está formada por dos tramos. El tramo inferior está constituido fundamentalmente por alternancias pelítico-cuarcíticas, entre las que se intercala un nivel de calizas muy característico; este conjunto de materiales puede considerarse equivalente a la Formación Seo, definida por HARTEVELT (1970) en el oeste de Andorra. El tramo superior, esencialmente conglomerático-lutítico y discordante, ha sido atribuido al Ordovícico Superior. En esta sucesión estratigráfica se han diferenciado las siguientes unidades:

— Serie de Urets

En esta unidad litológica se han agrupado todas las alternancias pelítico-cuarcíticas que afloran por debajo de la Caliza de Bentailou (fig. 8). Trabajos anteriores (DURAND y RAGUIN, 1943; VISVANATH, 1957; DESTOMBES, 1958; BOISSONNAS, 1972, y POUIT, 1985 y 1986, entre otros) citan en la zona de Bentailou (mapa geológico núm. 1) la existencia de varios niveles conglomeráticos dentro de esta misma unidad estratigráfica. Incluso en algunos casos, trabajos de carácter general realizados por autores, tales como LAUMONIER y GUITARD (1986) y LAUMONIER (1988), comparan esta unidad con otras del Pirineo oriental que se encuentran incluidas dentro de la Serie de Canaveilles (definida por CAVET, 1957) y que han sido consideradas como pertenecientes al Cámbrico (Formación Evol), basándose principalmente en la presencia de estos conglomerados para establecer su correlación. Sin embargo, a partir del presente estudio se ha podido deducir que los niveles conglomeráticos que afloran dentro de las alternancias de Urets, en realidad, corresponden a términos superiores de la serie presilúrica. Concretamente, se trata de los conglomerados del Ordovícico Superior que se disponen de forma

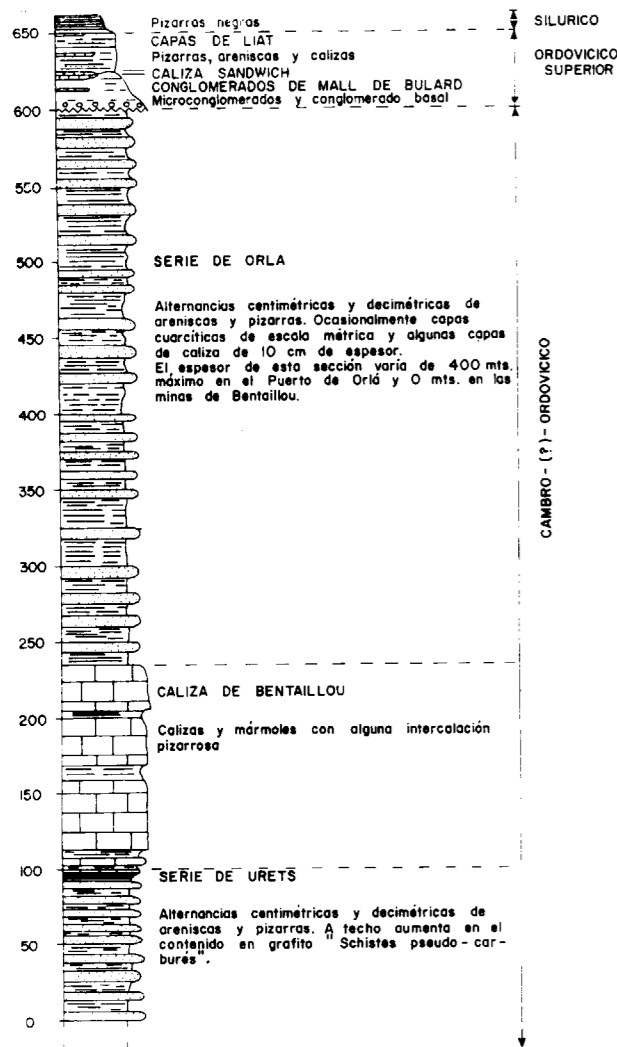


Figura 8.—Columna estratigráfica sintetizada de los materiales presilúricos del Domo del Garona.

discordante sobre los materiales infrayacentes, y que en la localidad de Bentaillou se encuentran en el flanco inverso y en la zona de charnela de un gran pliegue acostado, tal y como se observa en la pista que asciende a las minas de Bentaillou (fig. 9).

Los materiales que se ha podido comprobar que verdaderamente afloran debajo de la Caliza de Bentaillou, y que, por tanto, corresponden a la serie siliciclástica de Urets, son alternancias centimétricas y decimétricas de cuarcitas, areniscas y lutitas, comparables a la serie de Jujols descrita por CAVET (1957) en el Pirineo oriental.

Su espesor mínimo es de unos 300 m. A techo de esta unidad, justo por debajo de la Caliza de Bentaillou, aflora un nivel de pizarras grafitosas, de un espesor que no supera los 5 m. y que fue denominado «Schistes pseudocarbures» por DESTOMBES (1958).

Las alternancias pelítico-cuarcíticas de Urets afloran claramente en la subida hacia el Circo de Urets desde Eylie, cuando se pasa el bosque de la ladera norte de La Plagne. Antes de este punto se encuentra el flanco inverso del anticlinal antes mencionado, y por tanto pueden confundirse términos de esta unidad estratigráfica con otros pertenecientes al Ordovícico Superior (fig. 9 y mapa geológico núm. 1).

La edad de estos materiales es incierta, puesto que no se han citado fósiles en esta zona. Sin embargo, por la semejanza que esta unidad tiene con la serie de Jujols del Pirineo oriental se podría pensar que su edad es Ordovícico Inferior o Cámbrica, tal como sugiere LAUMONIER (1988).

— Caliza de Bentaillou

Al sur de La Plagne se sitúan las Minas de Bentaillou (fig. 9), importante yacimiento de Zn-Pb. Esta mineralización está asociada con un nivel de calizas muy característico en esta región, conocido desde antiguamente con el nombre de «Calcaire Métallifère» (CARALP, 1888). Más recientemente fueron DURAND y RAGUIN (1943) los primeros en referirse a estas calizas con el nombre de «Caliza de Bentaillou», denominación con la cual son conocidos actualmente estos materiales. Existen otras calizas en niveles superiores de la serie presilúrica, que, pese a tener mucho menos espesor que la Caliza de Bentaillou, en algunas localidades a menudo han sido confundidas con ella en diversos trabajos; algunos bastante recientes, como es el caso de la Hoja geológica de «Pic de Mauberme» (BOISSONNAS, 1972). Fue ALONSO (1979) el primero en realizar claramente la distinción entre ambas calizas en buena parte del área estudiada.

Normalmente, la Caliza de Bentaillou aparece constituida por un grueso nivel de calizas generalmente blancas y masivas. En numerosas ocasiones, debido al metamorfismo al que se ve sometida esta unidad, se observa una fuerte recristalización que borra toda evidencia de estructuras sedimentarias. En algunos casos es po-

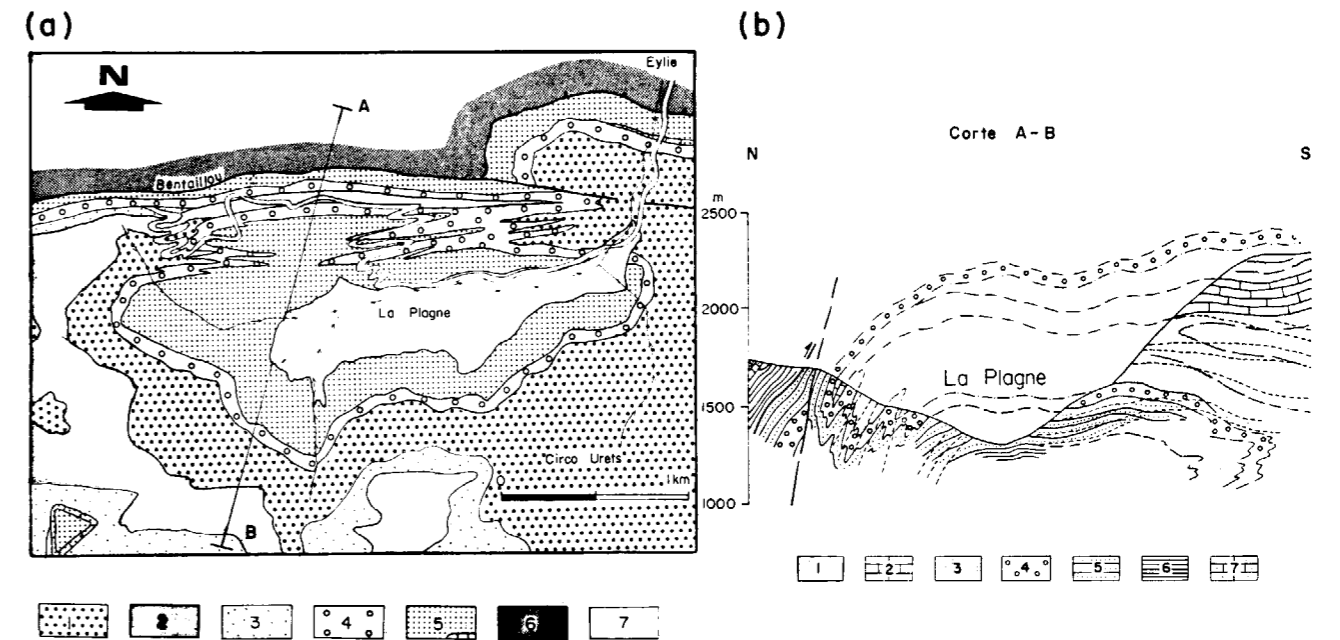


Figura 9.

- a) Esquema geológico del sector de la Plagne y minas de Bentaillou; en la pista que sube a los yacimientos mineros se observa cómo los conglomerados que afloran constituyen una única unidad fuertemente replegada. Son los conglomerados del Ordovícico Superior y por debajo de ellos, en el fondo de la Plagne, las rocas que aparecen son de edad aún más moderna, y se encuentran situadas en el flanco inverso de una gran estructura anticlinal que, en corte, puede observarse en el esquema b). 1) Serie de Urets. 2) Caliza de Bentaillou. 3) Serie de Orlá. 4) Conglomerados de Mall de Bulard. 5) Capas de Liat. 6) Ampelitas silúricas. 7) Depósitos cuaternarios.
- b) Corte geológico por la zona de la Plagne (SE del Domo del Garona). Es posible observar cómo los conglomerados del Ordovícico Superior truncan todas las unidades infrayacentes. La situación de este corte, véase en el esquema a). 1) Serie de Urets. 2) Caliza de Bentaillou. 3) Serie de Orlá. 4) Conglomerados de Mall de Bulard. 5) Capas de Liat. 6) Ampelitas silúricas. 7) Calizas devónicas.

sible observar la presencia de alternancias centimétricas o decimétricas de calizas y niveles de lutitas feldespáticas (POUIT, 1985). El espesor de esta unidad nunca supera los 100 ó 150 m. La potencia de estos materiales disminuye notablemente hacia el norte, hasta que en la zona de las Minas de Bentaillou desaparecen. Esta variación de espesor, así como el hecho de que se observen zonas donde las calizas parecen encontrarse digitalizadas, ha sido interpretado por algunos autores (POUIT, 1986) como debido a un origen subarrecifal. Sin embargo, no hay ninguna evidencia que permita asegurar este hecho. Por el contrario, en la zona en donde estas calizas se adelgazan (norte del Circo de Urets y área de las Minas de Bentaillou) es llamativa la proximidad de los conglomerados discordantes del Ordovícico Superior (fig. 9). Esta circunstancia parece apuntar a que este nivel calcáreo desapa-

rece como consecuencia del truncamiento producido por el conglomerado discordante del Ordovícico Superior. La Caliza de Bentaillou aflora muy bien y de forma casi constante en todo el Circo de Urets, entre las Minas de Bentaillou y el Tuc de Mauberme, así como al norte y oeste del lago Liat (fig. 10).

En cuanto a su edad, inicialmente fueron atribuidas al Devónico por BERTRAND (1907), debido a que en la zona de la mina de Bentaillou consideró que los «Schistes pseudocarbures» eran silúricos; y por tanto la Caliza de Bentaillou, al encontrarse sobre ellos, debería ser devónica. Las series presilúricas y silúricas suprayacentes a la Caliza de Bentaillou, para BERTRAND (1907), se encontraban en esta posición debido a la existencia de un cabalgamiento. Fue DURAND (1935) quien observó que este nivel de calizas se en-

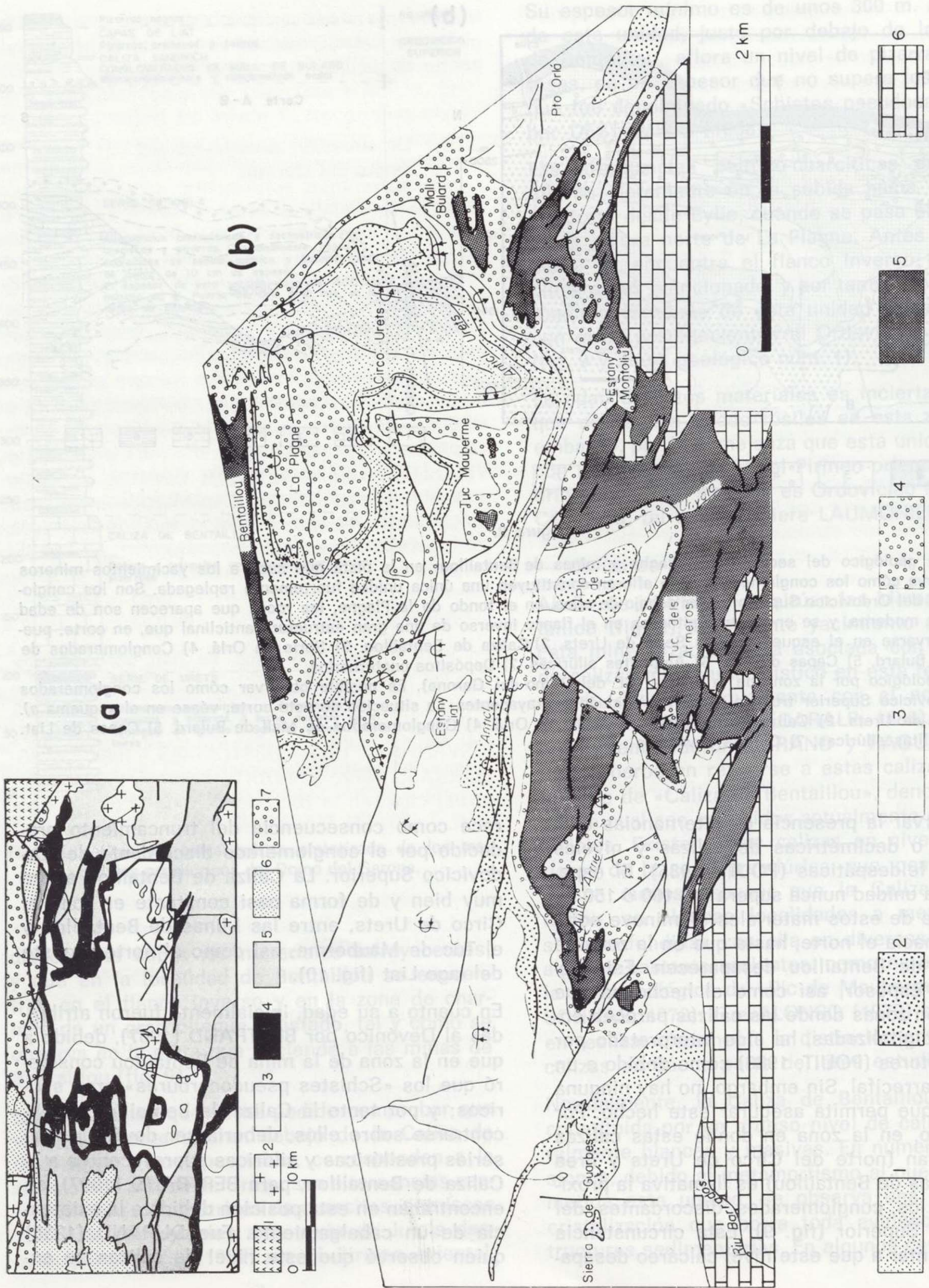


Figura 10.
a) Esquema geológico del Domo del Garona: 1) Rocas metamórficas de alto grado. 2) Granitoides. 3) Rocas presilúricas. 4) Rocas silúricas. 5) Rocas devónicas. 6) Rocas carboníferas. 7) Rocas post-hercínicas.
b) Mapa geológico del sector SE del Domo del Garona: 1) Serie de Urets. 2) Caliza de Bentaillou. 3) Serie de Orlá. 4) Rocas del Ordovícico Superior. 5) Ampelitas silúricas. 6) Rocas devónicas.

cuentra incluido dentro de una serie presilúrica siliciclástica, sin necesidad de invocar a estructuras tectónicas. Aún no se han encontrado restos fósiles en estas calizas; sin embargo, algunos autores como LAUMONIER y GUITARD (1986) las consideran cámbricas por comparación con unidades litológicas datadas similares a la Caliza de Bentaillou, y que han sido reconocidas en áreas del Pirineo oriental y de la Montagne Noire. Debido a la ausencia de datos precisos relativos a la edad, la posibilidad de una edad ordovícica para estos materiales no debe ser descartada.

— Serie de Orlá

Se ha denominado así a toda la sucesión siliciclástica que aflora por debajo del Ordovícico Superior y sobre la Caliza de Bentaillou (fig. 8).

En general, son alternancias decimétricas de cuarcitas y lutitas. En algunas ocasiones las capas de cuarcitas pueden ser gruesas, superando el metro de espesor, como ocurre en la ladera derecha del valle de Barradós, en el flanco sur del Anticlinal de Armeros (figs. 10 y 11). En otras localidades, como el puerto de Orlá, dentro de esta serie siliciclástica, pueden reconocerse capas decimétricas de calizas.

El espesor de esta unidad es muy variable. En el puerto de Orlá es donde aparece la máxima potencia, estimándose unos 400 metros. Escasos kilómetros al norte, en el Circo de Urets, el espesor se reduce a tan sólo 200 m. En la parte más septentrional del área estudiada, en la zona de las minas de Bentaillou, estos materiales desaparecen bajo los conglomerados del Ordovícico Superior. Esta reducción del espesor, hasta su total desaparición en la zona de Bentaillou, es seguramente debida al carácter discordante del conglomerado del Ordovícico Superior, que hacia el norte va truncando las unidades infrayacentes.

No se han encontrado restos fósiles en esta unidad. Sin embargo, es comparable a la Serie de Jujols estudiada en el Pirineo oriental por CAVET (1957) por su semejanza litológica y posición estratigráfica, y que recientemente ha sido atribuida al Cámbrico y/o Ordovícico Inferior por LAUMONIER (1988) a partir de criterios estratigráficos.



Figura 11.—Cuarcitas y pizarras de la Serie de Orlá en la Sierra de Armeros.

— Conglomerados de Mall de Bulard

Autores tales como DESTOMBES (1952, 1958), VISVANATH (1957) y KLEINSMIEDE (1960) fueron los primeros que pusieron de manifiesto la existencia de conglomerados presilúricos en el Domo del Garona. También observaron la presencia de niveles carbonáticos con fauna, que no correspondían a la Caliza de Bentaillou. De esta forma, estos autores pudieron atribuir estas rocas al Ordovícico Superior, basándose en la correlación de estas series con otras localizadas en áreas del Pirineo oriental y de la Montagne Noire.

En este trabajo se ha agrupado, bajo la denominación de «Conglomerados de Mall de Bulard»,

una unidad litológica, presilúrica, constituida fundamentalmente por conglomerados, microconglomerados, areniscas groseras y lutitas que aflora en todo el sector SE del Domo del Garona. La base frecuentemente presenta un conglomerado poligénico, normalmente con abundante matriz, en el que se pueden encontrar abundantes cantos cuarcíticos y lutíticos, que, por lo general, son de 1 ó 2 cm., aunque a veces tienen unos 5 cm. de diámetro. En ocasiones es posible hallar cantos de calizas (BOISSONNAS, 1972) y de rocas ígneas (RAGUIN, 1946). Por encima del conglomerado basal aparecen unos microconglomerados que se componen de clastos cuarcíticos dispersos en una matriz sericítica o calcárea. En los clastos de cuarzo se pueden reconocer formas poligonales y golfos de corrosión que podrían indicar un cierto origen volcánico. El microconglomerado de Mall de Bulard pasa gradualmente de tener una matriz sericítica en su parte basal a una matriz calcárea hacia el techo, dando lugar a un nivel calcáreo bastante conti-

nuo, de unos dos metros de espesor, que es la denominada Caliza Sandwich (fig. 12). El espesor de estos conglomerados es variable, encontrándose en torno a los 30 metros.

Los Conglomerados de Mall de Bulard generalmente afloran bien en casi todo el SE del Domo del Garona. Los mejores afloramientos se sitúan entre el lago de Liat y el Tuc dels Armeros, y en el sector de las Minas de Bentaillou, siendo en las proximidades del puerto de Orlá, más concretamente en el pico de Mall de Bulard, donde se encuentran mejor representados, ya que el tramo basal conglomerático tiene más espesor y los cantos son de mayor tamaño (mapa geológico núm. 1 y fig. 10).

En el sector SE del Domo del Garona esta unidad litológica se dispone de forma discordante sobre los materiales infrayacentes, de manera que pasa de estar apoyada sobre la Serie de Orlá, en la zona de Mall de Bulard, a estarlo directamente sobre la de Urets, en los alrededores de La

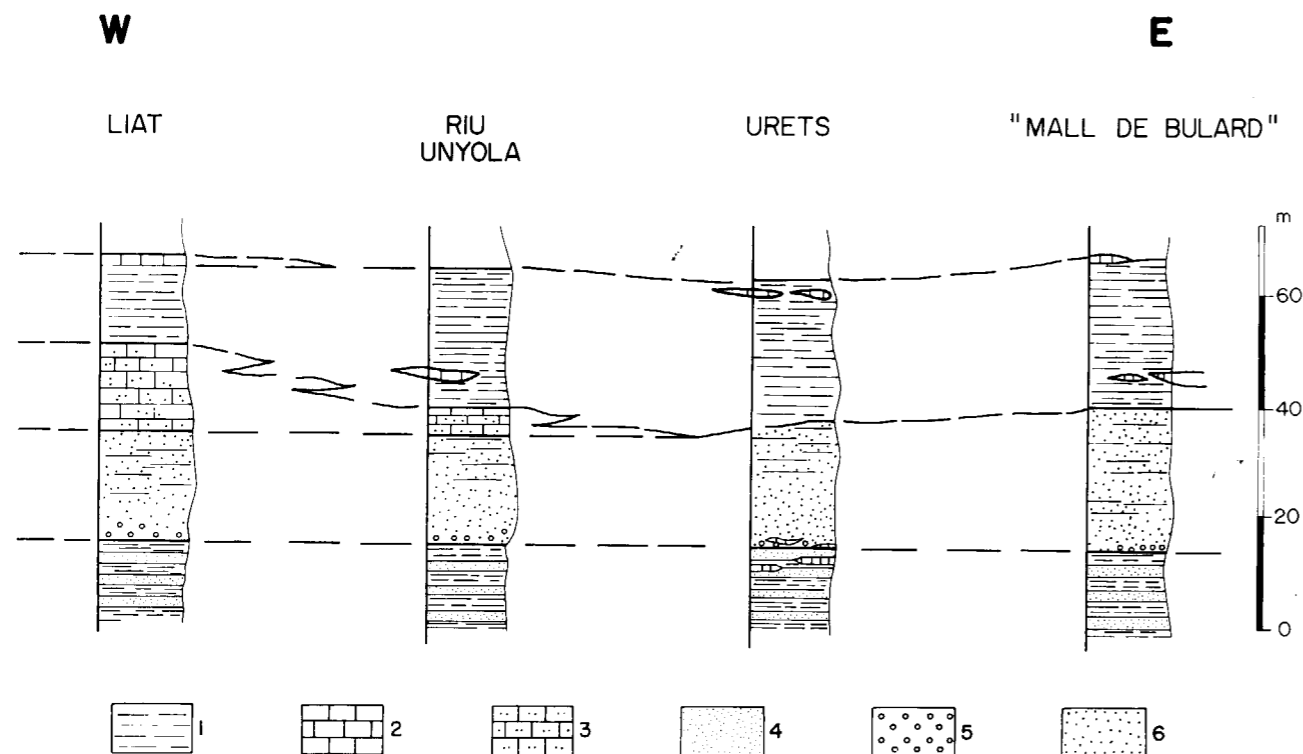


Figura 12.—Columnas estratigráficas del Ordovícico Superior del sector suroriental del Domo del Garona: 1) Pizarras. 2) Calizas. 3) Microconglomerado cuarcítico, con matriz calcárea. 4) Cuarzitas y areniscas. 5) Conglomerado poligénico. 6) Microconglomerado cuarcítico, con matriz sericítica. Situación de las localidades en la figura 10.

Plagne, pudiéndose observar en la cartografía de todo el área situada entre estos dos puntos, la desaparición de todas estas unidades que afloran por debajo (fig. 9).

Los Conglomerados de Mall de Bulard pueden considerarse equivalentes al Conglomerado de la Rabassa observado en otras áreas del Pirineo (HARTEVELT, 1970) y atribuido al Caradoc (SANTANACH, 1972 a y b; MUÑOZ, 1985; LAUMONIER y GUITARD, 1986). Ambos conglomerados tienen en común la posición estratigráfica, el carácter discordante y la edad.

— Caliza Sandwich

Este nivel de calizas que aparece incluido dentro de la serie del Ordovícico Superior, ya había sido observado desde hace tiempo por numerosos autores, llamando especialmente la atención por el contenido faunístico que en ocasiones posee. Sin embargo, debido al confusiónismo existente entre este nivel calcáreo y la Caliza de Bentaillou, así como a la falta de continuidad de la Caliza Sandwich, que no permitió realizar con precisión su correlación entre las diferentes áreas, ha ido recibiendo diferentes nombres. BARROIS (1887) denominó a este nivel «Calcaire à *Echinospaerites balticus*», DALLONI (1930) «Calcaire ou Grauwaque à Orthis», BOISSONNAS (1972) «Calcaire Rubannée», POUIT (1985) «Calcaire troué» y FERT (1976) «Calcaire Crabère». Pero fue VOLKER (en KLEINSMIEDE, 1960) quien denominó «Caliza Sandwich» a este nivel, nombre por el cual es más conocido hoy en día. El motivo por el cual se le ha atribuido esta denominación, es porque este nivel de calizas destaca notablemente en el paisaje, al encontrarse incluido entre dos sucesiones cuarcítico-lutíticas (fig. 13).

Estratigráficamente, se sitúa a techo de los Conglomerados de Mall de Bulard, si bien es posible encontrar calizas similares en otras posiciones. Así, en la zona del Circo de Urets aparece cerca de la base del microconglomerado, o entre las capas de la unidad suprayacente (fig. 12). Constituye un nivel muy característico de 2 ó 3 metros de espesor, aunque, ocasionalmente, puede ser más grueso. La Caliza Sandwich aparece constituida por alternancias centimétricas o decimétricas de calizas grises silíceas y pizarras. Generalmente, los términos calcáreos aparecen parcialmente disueltos, dándole un aspecto muy



Figura 13.—Caliza Sandwich al norte del Tuc dels Armeros.

característico. Es frecuente observar oquedades, debidas posiblemente a la existencia de moldes de restos fósiles.

La continuidad lateral de la Caliza Sandwich es bastante considerable, aunque no siempre aparece. Las zonas donde mejor puede ser observada corresponden a los sectores situados entre el lago de Liat y la sierra de Guarbes, por un lado, y entre el lago de Montoliou y el puerto de Orlá, por el otro (fig. 10). En toda esta zona aflora muy bien y constituye un excelente nivel guía.

Por su contenido faunístico, la Caliza Sandwich ha sido atribuida al Asghill (BOISSONNAS, 1972), siendo también comparable en cuanto a edad a los «Schistes troués» definidos por CAVET (1957) en el Pirineo oriental. Igualmente, se puede co-

Plagne, pudiéndose observar en la cartografía de todo el área situada entre estos dos puntos, la desaparición de todas estas unidades que afloran por debajo (fig. 9).

Los Conglomerados de Mall de Bulard pueden considerarse equivalentes al Conglomerado de la Rabassa observado en otras áreas del Pirineo (HARTEVELT, 1970) y atribuido al Caradoc (SANTANACH, 1972 a y b; MUÑOZ, 1985; LAUMONIER y GUITARD, 1986). Ambos conglomerados tienen en común la posición estratigráfica, el carácter discordante y la edad.

— Caliza Sandwich

Este nivel de calizas que aparece incluido dentro de la serie del Ordovícico Superior, ya había sido observado desde hace tiempo por numerosos autores, llamando especialmente la atención por el contenido faunístico que en ocasiones posee. Sin embargo, debido al confusionismo existente entre este nivel calcáreo y la Caliza de Bentailou, así como a la falta de continuidad de la Caliza Sandwich, que no permitió realizar con precisión su correlación entre las diferentes áreas, ha ido recibiendo diferentes nombres. BARROIS (1887) denominó a este nivel «Calcaire à *Echinospaerites balticus*», DALLONI (1930) «Calcaire ou Grauwaque à Orthis», BOISSONNAS (1972) «Calcaire Rubannée», POUIT (1985) «Calcaire troué» y FERT (1976) «Calcaire Crabère». Pero fue VOLKER (en KLEINSMIEDE, 1960) quien denominó «Caliza Sandwich» a este nivel, nombre por el cual es más conocido hoy en día. El motivo por el cual se le ha atribuido esta denominación, es porque este nivel de calizas destaca notablemente en el paisaje, al encontrarse incluido entre dos sucesiones cuarcítico-lutíticas (fig. 13).

Estratigráficamente, se sitúa a techo de los Conglomerados de Mall de Bulard, si bien es posible encontrar calizas similares en otras posiciones. Así, en la zona del Circo de Urets aparece cerca de la base del microconglomerado, o entre las capas de la unidad suprayacente (fig. 12). Constituye un nivel muy característico de 2 ó 3 metros de espesor, aunque, ocasionalmente, puede ser más grueso. La Caliza Sandwich aparece constituida por alternancias centimétricas o decimétricas de calizas grises silíceas y pizarras. Generalmente, los términos calcáreos aparecen parcialmente disueltos, dándole un aspecto muy

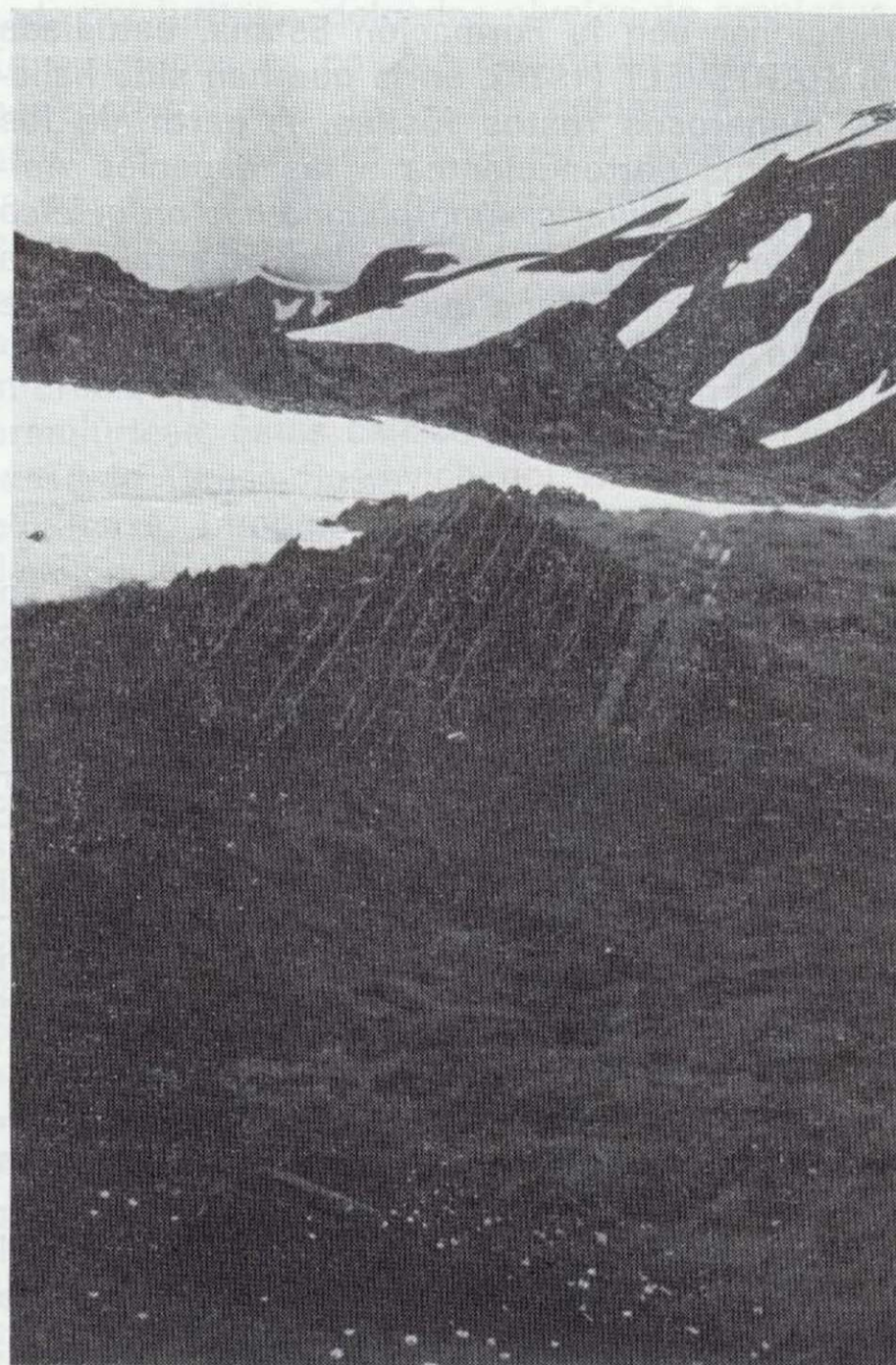


Figura 13.—Caliza Sandwich al norte del Tuc dels Armeros.

característico. Es frecuente observar oquedades, debidas posiblemente a la existencia de moldes de restos fósiles.

La continuidad lateral de la Caliza Sandwich es bastante considerable, aunque no siempre aparece. Las zonas donde mejor puede ser observada corresponden a los sectores situados entre el lago de Liat y la sierra de Guarbes, por un lado, y entre el lago de Montoliou y el puerto de Orlá, por el otro (fig. 10). En toda esta zona aflora muy bien y constituye un excelente nivel guía.

Por su contenido faunístico, la Caliza Sandwich ha sido atribuida al Asghill (BOISSONNAS, 1972), siendo también comparable en cuanto a edad a los «Schistes troués» definidos por CAVET (1957) en el Pirineo oriental. Igualmente, se puede co-

rrrelacionar con la Formación Estana, estudiada por HARTEVELT (1970), en la que han sido hallados numerosos restos fósiles. A partir de los conodontos pertenecientes a las especies *Amballodus triangularis*, *Amorphognathus ordovicica* e *Icrodella superba*, además de otra fauna, la edad de la Fm. Estana queda comprendida entre la parte superior del Caradoc e inferior del Asghill (BOERSMA en HARTEVELT, 1970).

— Capas de Liat

En el sector suroriental del Domo del Garona, en la parte alta de la serie presilúrica, DESTOMBES (1958) reconoció un conjunto de materiales fundamentalmente lutíticos, diferenciables de los conglomerados y calizas del Ordovícico Superior que denominó «Serie bleue». Buena parte de esta unidad litológica es lo que en el presente trabajo se ha denominado Capas de Liat, que corresponden a todos los materiales que aparecen por encima de la Caliza Sandwich y debajo de las ampelitas silúricas.

Las Capas de Liat son fundamentalmente lutitas, con intercalaciones milimétricas o centimétricas de areniscas de grano fino, aunque, ocasionalmente, las capas de areniscas pueden superar el decímetro de espesor. Dentro de este conjunto de materiales, y por lo general cerca del techo, es posible reconocer algún nivel de caliza de aspecto similar al de la Sandwich, aunque no supera el metro de espesor. Justo en el techo de las Capas de Liat es llamativa la presencia ocasional de un nivel brechoide, de 20 ó 40 centímetros de espesor, constituido por clastos de calizas y cuarzos con bordes corroídos, lo cual sugiere una cierta participación volcánica. Este nivel fue denominado por GUERIN (1979) «Horizont troué».

La potencia total de las Capas de Liat es variable, oscilando entre 20 ó 30 metros. Afloran muy bien en toda la zona sur del sector SE del Domo del Garona, entre la sierra de Guarbes y el puerto de Orlá (fig. 10).

La edad de estos materiales puede situarse entre el Ordovícico terminal y el Silúrico más bajo, ya que aparece entre la Caliza Sandwich y las ampelitas del Silúrico. Por sus características litológicas, las Capas de Liat pueden considerarse equivalentes a la Fm. Ansobell, estudiada por HARTEVELT (1970) en el oeste de Andorra, y que este autor atribuye al Asghill.

— Discusión y conclusiones

Como puede deducirse de la descripción de los materiales presilúricos, en el Domo del Garona es posible diferenciar dos grupos litológicos: el primero, formado por las alternancias cuarcítico-lutíticas de Urets y de Orlá, separadas ambas por la Caliza de Bentaillou, y el segundo por los Conglomerados de Mall de Bulard, Caliza Sandwich y Capas de Liat, de edad Ordovícico Superior.

En lo referente al primero de estos grupos litológicos, debido a la escasez de estructuras sedimentarias y a la falta de datos paleontológicos, resulta difícil reconocer el ambiente sedimentario en el cual se depositaron, así como su edad precisa. Sin embargo, por comparación con series similares de edad más moderna, las alternancias cuarcítico-lutíticas de Urets podrían haberse depositado en un ambiente deposicional turbidítico o de plataforma externa.

En cuanto a la Caliza de Bentaillou no existe evidencia alguna de su supuesto origen arrecifal. El enorme grado de recristalización y la ausencia de restos fósiles hace difícil su interpretación sedimentológica. No obstante, y basándose en el entorno estratigráfico en que se encuentra inmersa, podría atribuirse a sedimentos de plataforma carbonática en sentido amplio.

La Serie de Orlá es bastante parecida a la de Urets, por lo que se puede suponer que ambas se han depositado en un medio similar. Sin embargo, la presencia de gruesos niveles cuarcíticos en las capas de la Serie de Orlá podría indicar que fueron depositadas en un medio de plataforma más energético.

El segundo grupo litológico, perteneciente al Ordovícico Superior, en conjunto tiene poca potencia, pues nunca supera los 50 metros de espesor, como puede observarse en la figura 12. Por el tipo de litologías que muestra podría ser asimilado a un medio marino más energético y posiblemente más somero. Este conjunto de materiales, como se ha indicado sucesivas veces, se dispone de forma discordante sobre los materiales infrayacentes, de manera que en el pico de Mall de Bulard (mapa geológico núm. 1 y figura 10) el conglomerado se encuentra sobre 400 metros de alternancias cuarcítico-pizarrosas de la Serie de Orlá. A medida que se siguen los materiales del Ordovícico Superior hacia el nor-

te, el espesor de la Serie de Orlá se va reduciendo significativamente. En la pista de La Plagne-Bentaillou, esta unidad desaparece totalmente, de manera que el Conglomerado de Mall de Bulard se dispone directamente sobre la Caliza de Bentaillou, la cual se ve igualmente truncada en esta zona (fig. 9). A la vista del corte de la figura 9, los afloramientos del Ordovícico Superior pueden ser seguidos en el flanco inverso de la estructura anticlinal que aparece en el fondo de La Plagne. En esta zona se observa cómo el Conglomerado del Caradoc se dispone sobre la Serie de Urets.

La existencia de esta discordancia no es novedosa en el Pirineo. Así, SCHMIDT (1931) hizo referencia a una discordancia del Ordovícico Superior en el Domo del Pallaresa (al este del área estudiada), a la que denominó discordancia Pallaresica. Sin embargo, posteriormente, GISBERT (1981), pudo demostrar que en realidad se trataba de un conglomerado Pérmico en lugar del Conglomerado del Caradoc. Posteriormente, otros autores, como es el caso de LLOPIS LLADO (1965), citaron la presencia de esta discordancia en diversas zonas del Pirineo, pero no se aportaban datos que permitiesen demostrar su existencia. Posteriormente, SANTANACH (1972 a y b) hizo referencia a esta discordancia en la Zona del Domo de la Rabassa, al oeste de Andorra. Basándose en una cartografía geológica y en el análisis estructural, este autor concluyó que el Conglomerado del Caradoc trunca a las unidades litológicas infrayacentes.

2.1.2. La sucesión presilúrica del Anticlinal Central

En el núcleo del Anticlinal Central fueron descritos materiales presilúricos en localidades próximas al área estudiada, situadas más al oeste, por DESTOMBES (1952) y DESTOMBES y RAGUIN (1953). Recientemente, DONNOT y GUERANGE (1969) realizaron una columna estratigráfica detallada y muy completa entre el Hospice de France y el puerto de Benasque, al oeste del Valle de Arán, fuera ya del ámbito del área estudiada. Según estos mismos autores, esta sucesión estratigráfica incluye términos que van desde el Cámbrico Inferior hasta el Ordovícico Superior.

En la zona estudiada la sucesión presilúrica del Anticlinal Central, en general, aparece caracteri-

zada por lutitas y delgados niveles de areniscas. En ocasiones es posible distinguir intercalaciones carbonáticas de escala decimétrica, como ocurre en el barranco de Yer, en la margen oriental del río Joeu (mapa geológico núm. 1 y fig. 14). Por otra parte, en la cresta NO de la Tuca Blanca, aparece un nivel bastante continuo de calizas blancas con un espesor que no supera los 10 m., intercaladas en una serie de lutitas y areniscas presilúricas. Estas calizas podrían ser equivalentes a la Caliza Sandwich del Caradociense-Asghilliense. También cerca de esta misma localidad, un kilómetro al este de la boca norte del túnel de Viella, en el camino que se dirige a las pistas de esquí de la Tüca, aflora un nivel de calizas junto a unas capas de areniscas de grano grueso intercaladas entre una serie de alternancias de areniscas de grano fino y lutitas verdosas; estas litologías podrían corresponder al Ordovícico Superior. Por último, en la margen occidental del río Joeu, en toda la ladera, ha sido observada la presencia de materiales presilúricos constituidos por capas gruesas de areniscas, alternando con niveles lutíticos. Este conjunto de materiales podría ser equivalente a la Serie de Jujols descrita por CAVET (1957) en el Pirineo oriental.

Los afloramientos del área estudiada, en general, son discontinuos y de mala calidad, por lo que no es fácil establecer correlaciones precisas entre estos materiales y los de otras áreas mejor conocidas. Sin embargo, muy cerca del área estudiada, en la zona del Hospice de France (sureste de Bagnères de Luchon), DONNOT y GUERANGE (1969) y BOUQUET et al. (1987) realizaron un estudio muy detallado de los materiales presilúricos y obtuvieron una columna estratigráfica de aproximadamente 2.000 metros de espesor, en la que se diferencian diversos tramos. Por afinidad con series estudiadas en la Montagne Noire (al NE de los Pirineos), estos autores las consideran de edades comprendidas entre el Cámbrico Inferior y el Ordovícico Superior. La columna estratigráfica realizada por estos autores se muestra en la figura 15, y a rasgos generales se pueden distinguir tres tramos, siendo su descripción la siguiente:

— El tramo basal de esta sucesión aparece caracterizado por una serie vulcano-sedimentaria constituida por areniscas, pelitas y microconglomerados. Por encima, se sitúan unos

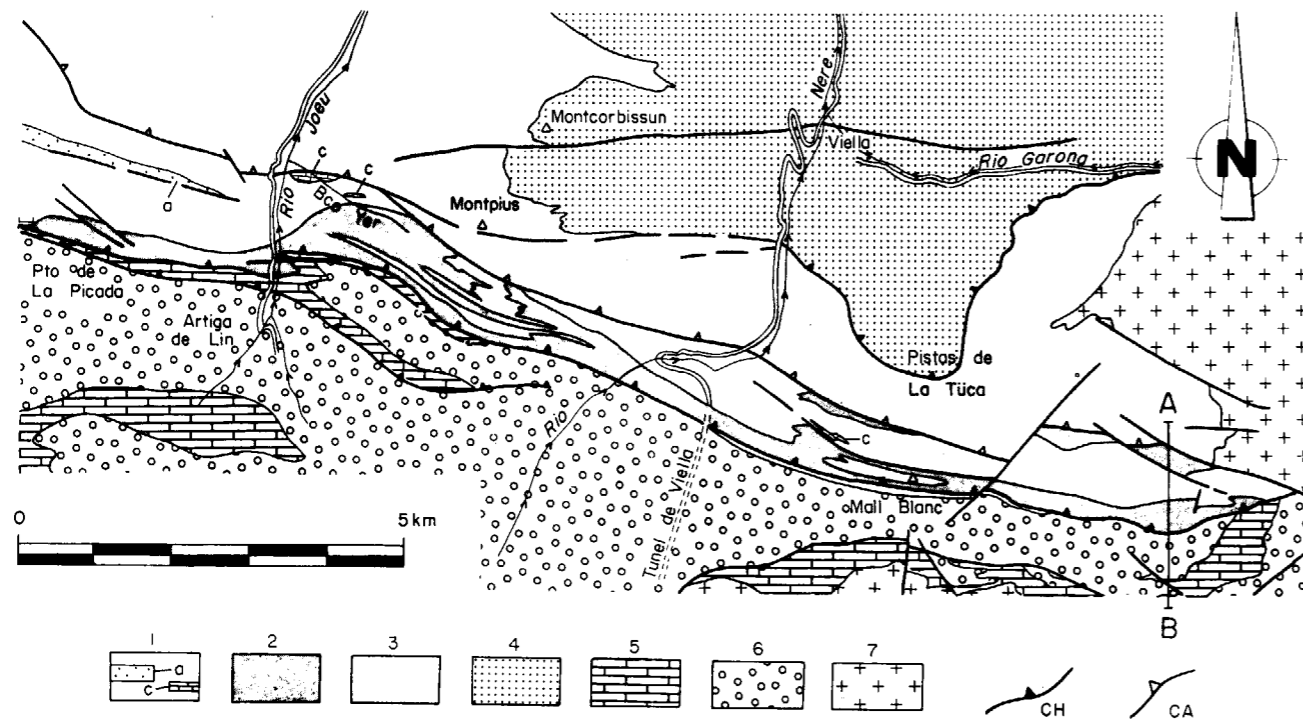


Figura 14.—Esquema geológico del Anticlinal Central. 1) Rocas presilúricas. a) Areniscas. c) Calizas. 2) Ampelitas del Silúrico. 3) Rocas calcáreo-pizarrosas del Devónico. 4) Rocas siliciclásticas del Devónico. 5) Calizas del Devónico Superior - Carbonífero Inferior. 6) Rocas siliciclásticas carboníferas («Culm»). 7) Granitos. CH) Cabalgamiento de Gavarnie. A-B) Situación del corte geológico de la figura 95.

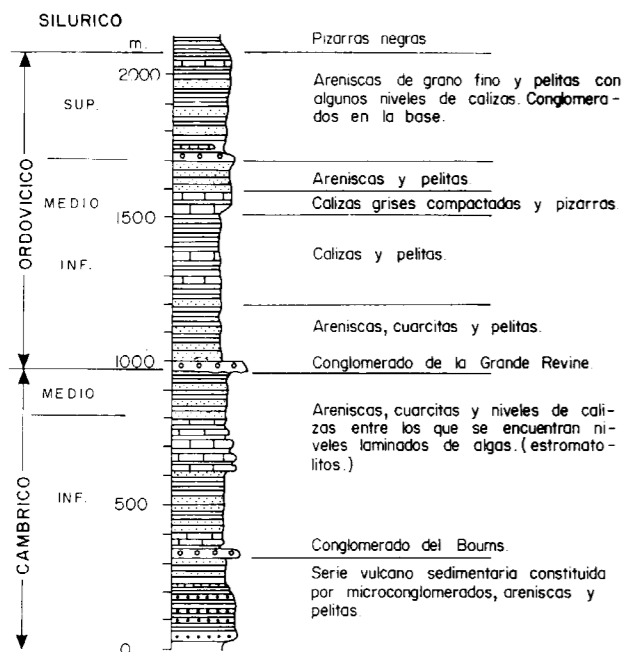


Figura 15.—Columna estratigráfica sintetizada de las rocas presilúricas del Anticlinal Central en la transversal del Hospice de France al puerto de Benasque, según DONNOT y GUERANGE (1969).

conglomerados con cantos muy gruesos e incluso bloques de varios decímetros de diámetro, a los que denominan «Conglomerados del Bourns», atribuyéndolos al Cámbrico Inferior. Sobre ellos, y dentro de una serie predominantemente detrítica, se reconocen unas calizas con laminaciones atribuibles a estromatolitos.

- En la parte intermedia de la sucesión estratigráfica, aflora otro nivel de conglomerados («Conglomerados de la Grande Ravine»), sobre los que se dispone una serie alternante de lutitas, calizas y areniscas. Dentro de la parte más alta de este mismo tramo aparecen niveles más cuarcíticos.
- Por último, en la parte más alta de esta sucesión estratigráfica, nuevamente vuelve a aflorar un nivel conglomerático sobre el que se sitúan lutitas y areniscas de grano fino, con algunos niveles carbonáticos intercalados.

Los niveles carbonáticos reconocidos por DONNOT y GUERANGE (1969) en el primer tramo

pueden ser comparables a la «Caliza de Lánca», de edad Cámbrico Inferior-Medio, estudiada en la Zona Cantábrica por ZAMARREÑO (1975). Esta autora las ha interpretado como depositadas en un medio intermareal. Las facies más cuarcíticas del segundo tramo recuerdan a las presentes en las Series de Orlá y Urets del Domo del Garona o a la Serie de Jujols descrita por CAVET (1957) en el Pirineo oriental. En cuanto al tercer tramo, se considera de edad Ordovícico Superior por comparación con otras áreas del Pirineo (GUERANGE *, com. pers.).

En la terminación oriental del Anticlinal Central que aflora dentro de la zona estudiada, no se ha reconocido ninguno de los niveles más característicos descritos por DONNOT y GUERANGE (1969). Por este motivo, resulta difícil realizar correlaciones entre las litologías de una y otra zona, pese a su proximidad.

2.1.3. La sucesión presilúrica del sector de la Alta Ribagorça

Los afloramientos de materiales presilúricos observados en el sector de la Alta Ribagorça son muy escasos. Únicamente al norte del collado Salines (mapa geológico núm. 2) es posible observar una estrecha franja con dirección E-W. Está constituida por alternancias de lutitas y finas capas areniscosas, entre las que ocasionalmente se intercalan capas métricas y decamétricas de calizas con abundantes intercalaciones lutíticas. Estos materiales fueron atribuidos por MEY (1967, 1968) al Asghill, por su afinidad litoestratigráfica con las series del Ordovícico Superior del valle del río Segre, al este de la Seu d'Urgel, descritas por DALLONI (1930), SCHMIDT (1931) y BOISSEVAIN (1934).

2.2. ESTRATIGRAFIA DE LA SUCESION SILURICA

Aparece representada por lutitas ampelíticas negras. Estas rocas ya habían sido reconocidas desde antiguo y atribuidas al Silúrico. Así, en el puerto de la Picada, situado en el área estudiada, en el flanco sur del Anticlinal Central (fig. 14), LEYMERIE (1982) reconoció niveles de calizas

* BRGM, Toulouse.

con ortocerátidos entre las ampelitas. En zonas situadas en la parte oriental de la Zona Axial pirenaica (Camprodón), BARROIS (1901) encontró restos de graptolites que atribuyó al Taranoniense (Llandoveryense Superior). Posteriormente, DALLONI (1930) encuentra faunas que sitúan estos materiales en el Wenlockiense. Más recientemente, DEGARDIN (1977 y 1978) ha estudiado ampelitas del Silúrico en Benasque (al oeste del área estudiada), obteniendo edades comprendidas entre el Llandoveryense Medio y Ludlowiense Superior, también con graptolites.

Estos materiales tienen una facies uniforme en todo el área estudiada, constituida por lutitas ampelíticas negras con abundante piritita. A partir de análisis químicos realizados en estas rocas, ZWART (1979) señala el alto contenido en aluminio, que llega a ser del 35 por 100 de Al_2O_3 ; el bajo contenido en SiO_2 , que oscila entre el 40 y el 60 por 100, y la materia carbonosa, que oscila entre el 0,3 y el 6 por 100. El espesor de las ampelitas es incierto, pues a menudo se reconocen superficies de despegue con estructuras asociadas a ellas que sustraen o añaden serie. Sin embargo, en aquellas zonas en donde estos materiales no muestran un grado de deformación muy elevado, como ocurre, por ejemplo, en el Anticlinorio de Sierra Negra, situado al sur de la Granodiorita de la Maladeta (mapa geológico número 2 y fig. 7), se ha estimado una potencia de aproximadamente 200 metros.

Al norte del área estudiada, en la zona del río Lez (junto a Eylie, fig. 9), se han encontrado graptolites pertenecientes a las Zonas 19 a 33 de ELLES y WOOD (BOISSONNAS, 1972), que sitúan estos materiales desde el Llandoveryense Superior al Ludlowiense Inferior.

Dentro del área estudiada, en la zona del Anticlinorio de Sierra Negra, aflora una sucesión de ampelitas que también se incluyen en el Ludlowiense (DEGARDIN, 1977). En la parte más alta de estas lutitas negras se han encontrado niveles delgados de calizas oscuras, bien estratificadas, con abundantes ortocerátidos, lamelibranquios, crinoideos, conodontos y quitinozoos que, según DEGARDIN y PARIS (1978), permiten atribuir estos materiales al Pridoliense (serie más alta del Silúrico). Al norte de Benasque, al oeste del área estudiada (puerto de S. Jaume), en estas mismas calizas con ortocerátidos, VALENZUELA (1989) encontró conodontos que le permiten atribuir

buir la parte baja de estos niveles calcáreos al Silúrico. Sin embargo, los conodontos de la parte superior de las calizas, encontrados por VALENZUELA (1989), le han permitido atribuir el techo de este nivel al Lochkoviense (Devónico más bajo). DEGARDIN (1977) también encuentra sobre la caliza silúrica algunas capas delgadas calcáreas y lutitas oscuras con fauna de conodontos del Devónico basal.

En la parte septentrional del Valle de Arán (al norte del río Barradós), por encima de las ampolitas silúricas, aparecen pequeños afloramientos (menores de 4 kilómetros cuadrados), de niveles de calizas tableadas, con intercalaciones arenosas y de lutitas grises que hacia arriba pasan a calizas masivas. Estos materiales, en su parte más alta, pueden ser considerados como devónicos. Sin embargo, al este del área estudiada, en la zona de Marimanya, se ha datado con conodontos la parte inferior de unas calizas similares (Calizas de Moredo y Salau), siendo incluidas en el Silúrico, posiblemente Ludlowiense (LOSANTOS et al., 1986).

2.3. ESTRATIGRAFIA DE LA SUCESION DEVONICA

Los materiales devónicos son los que mayor superficie de afloramiento ocupan en el área estudiada (fig. 16). Uno de los rasgos más destacables es la gran variedad de litologías que presentan las diferentes zonas. Existen tres áreas principales de afloramiento, y su distribución es la siguiente:

a) El Sinclinorio del Valle de Arán, localizado en la parte septentrional de la zona estudiada, entre el Domo del Garona y el Anticlinal Central. El núcleo de esta macroestructura se encuentra ocupado por rocas de edad devónica, en las que se han estudiado tres sucesiones estratigráficas. Dos de ellas, series de Sa Mont y de Montpius-Montcorbissun, están caracterizadas por el gran desarrollo de areniscas en su mitad superior. La tercera de estas sucesiones estratigráficas se ha realizado en el flanco sur del Anticlinal del Valle de Arán. Esta corresponde a la sucesión de la Tüca, y su principal caracte-

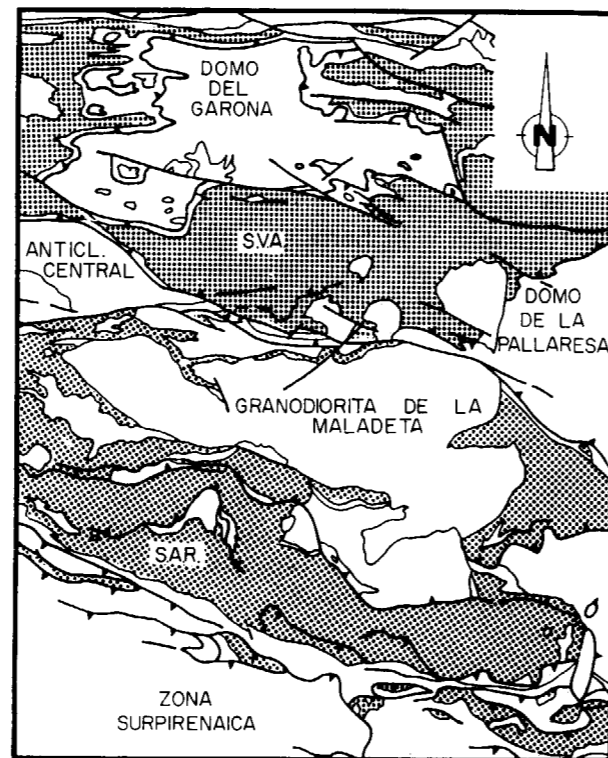


Figura 16.—Mapa de situación de afloramientos devónicos del área estudiada. SVA) Sinclinorio del Valle de Arán. SAR) Sector de la Alta Ribagorça.

terística es el gran desarrollo de calizas que se puede reconocer.

- b) Tanto al norte como al sur del Sinclinorio del Valle de Arán, en el borde meridional del Domo del Garona y en torno al Anticlinal Central, respectivamente, donde aparecen pequeños afloramientos de materiales devónicos. Son calizas, generalmente, localizadas en los núcleos de los sinclinales, que corresponden a los tramos más basales de la sucesión devónica.
- c) En el sector de la Alta Ribagorça (fig. 16 y mapa geológico núm. 2), al sur de la Granodiorita de la Maladeta, comprendiendo el Anticlinal de Sierra Negra y el sector de cabalgamiento de Castanosa. En este sector prácticamente la totalidad de rocas que afloran son de edad devónica. Las caracte-

cas más destacadas de la serie devónica que aflora en este área son que presenta una mitad inferior predominantemente calcárea y una mitad superior constituida fundamentalmente por rocas lutíticas.

Desde una perspectiva regional, puede decirse que en el Pirineo Central las rocas de edad devónica se caracterizan por la gran variedad litológica que presentan. Debido a esta circunstancia, ZWART (1979) estableció un conjunto de sucesiones estratigráficas distribuidas por áreas de facies, tal y como se muestra en la figura 17. Estas sucesiones, a grandes rasgos, son las siguientes:

1) Area de facies Norpirenaica.—En su área tipo se distinguen tres tramos. El inferior está

constituido por calcoesquistos y calizas de edad Devónico Inferior. La parte intermedia se caracteriza por presentar calizas en su parte más basal y dolomías en la alta, atribuyéndose todo el conjunto al Devónico Medio. Por último, la parte superior de esta sucesión estratigráfica, normalmente, está representada por lutitas carbonáticas y calizas nodulosas («griotte») del Devónico Superior.

2) Area de facies Septentrional.—La sucesión estratigráfica más común se caracteriza por la existencia de tres tramos: uno inferior calcáreo-pizarroso (Devónico Inferior), otro intermedio de calizas y dolomías (Devónico Medio), y uno superior, en el que se recono-

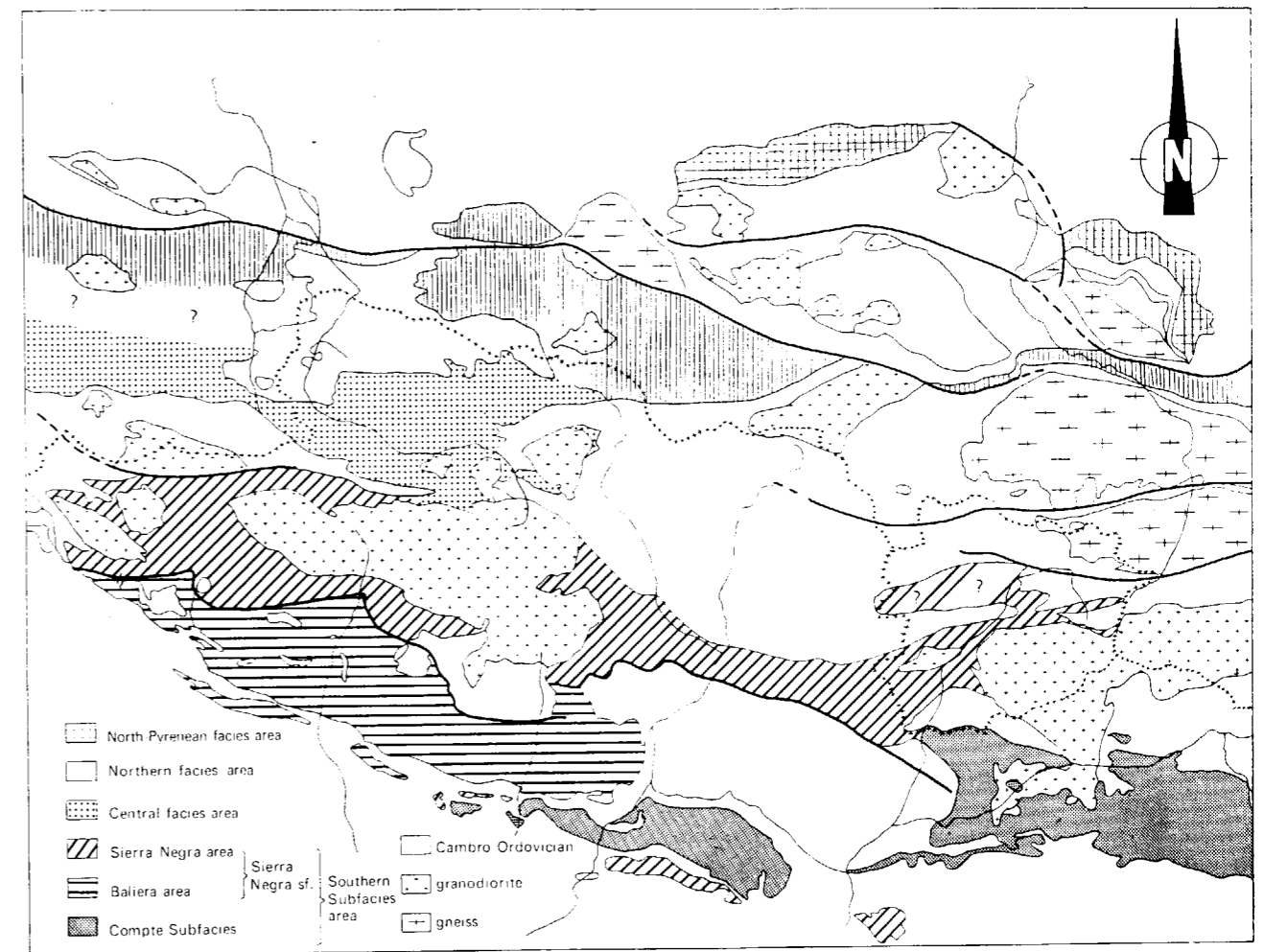


Figura 17.—Mapa de distribución de áreas de facies devónicas en el Pirineo Central (según ZWART, 1979).

cen calizas nodulosas tipo «griotte» («Devónico Superior»).

- 3) Area de facies Central.—Se caracteriza por estar constituida en su mitad inferior por una sucesión calcáreo-lutítica, y en su parte superior por una serie de areniscas y lutitas, que corresponden a las Areniscas de las Bordas. Las columnas estratigráficas realizadas en este trabajo, de San Mont y de Montpius-Montcorbissum, pertenecen a esta facies.
- 4) Areas de la subfacies Sierra Negra.—Se han diferenciado dos áreas, la primera de las cuales es el área Sierra Negra propiamente dicha. Su principal característica es que su mitad inferior consta de una sucesión de materiales fundamentalmente calcáreos, y su parte superior está formada casi totalmente por lutitas. La otra área corresponde a la subfacies Sierra-Negra-Baliera, y únicamente se diferencia de la anterior en que una de las formaciones calcáreas de la parte inferior tiene un miembro cuarcítico muy característico. A esta subfacies corresponde la sucesión estratigráfica reconocida en este trabajo en el sector de la Alta Ribagorça, y probablemente también la serie de la Tüca del Valle de Arán.
- 5) Area de la subfacies Compte.—Se caracteriza por un gran desarrollo de rocas calcáreas, las cuales han sido bien datadas con conodontos en zonas situadas al este del área estudiada. Se distingue una parte inferior calcáreo-lutítica del Devónico Inferior, una intermedia de calizas, datada como Devónico Medio, y por último, la parte más alta, que presenta en la base lutitas carbonáticas y calizas, y en la parte superior calizas nodulosas del Devónico Superior.

Como puede observarse por esta descripción, la división en grupos de facies establecida por ZWART (1979) se ha realizado en algunos casos basándose en la existencia de áreas separadas por estructuras importantes (como en el caso de la Falla Norpirenaica). En otras ocasiones, la distinción se efectúa basándose en la distancia existente entre unas áreas y otras, como ocurre con las facies Compte, Norpirenaica y Septentrional. Parece claro que únicamente pueden ser bien diferenciadas tres facies. En primer lugar, aquellas

en las que existe un predominio calcáreo claro en los materiales del Devónico Superior, pudiéndose englobar aquí las facies Norpirenaica, Septentrional y Compte. Un segundo grupo lo constituirían las facies caracterizadas por poseer un Devónico Superior siliciclástico, caso de la facies Central. Por último, en tercer lugar, se podría hacer mención de otro grupo de facies en el cual el Devónico Medio es fundamentalmente lutítico, caso de las subfacies Sierra Negra y Baliera. Sin embargo, es indudable que, a medida que se conozca mejor las sucesiones devónicas del Pirineo, esta división en facies que resulta simple será modificada.

2.3.1. La sucesión devónica del Valle de Arán

El primer autor que atribuyó una edad devónica al conjunto de materiales que afloran en el núcleo del Sinclinorio del Valle de Arán fue SNOEP (1956). Posteriormente, KLEINSMIEDE (1960) profundizó en su estudio, estableciendo la sucesión estratigráfica que caracteriza la «Facies Central del Devónico del Pirineo». KLEINSMIEDE (1960) distinguió cuatro unidades, que, de techo a muro, son las siguientes:

- D₄.—Pizarras y areniscas de Viella
 D₃.—Areniscas de Las Bordas
 D₂.—Pizarras y calizas de Entecada
 D₁.—Calizas Basales

En el presente trabajo el estudio de la estratigrafía del Devónico de este sector se ha llevado a cabo a partir de la cartografía de todas las unidades litoestratigráficas, y de la realización de tres columnas estratigráficas. Una está situada en el flanco norte del Sinclinorio del Valle de Arán, y las otras dos en el flanco sur, las cuales han sido parcialmente datadas con conodontos (fig. 18); su descripción fue realizada por GARCIA-SANSEGUNDO (en prensa), y la edad fue determinada por GARCIA-LOPEZ et al. (1990 b).

a) Sucesión de Sa Mont

Esta sucesión estratigráfica, que es la correspondiente al flanco norte del Sinclinorio del Valle de Arán, se caracteriza principalmente por el gran desarrollo de areniscas que presenta. A grandes rasgos, puede diferenciarse una parte inferior constituida por alternancias de calizas y

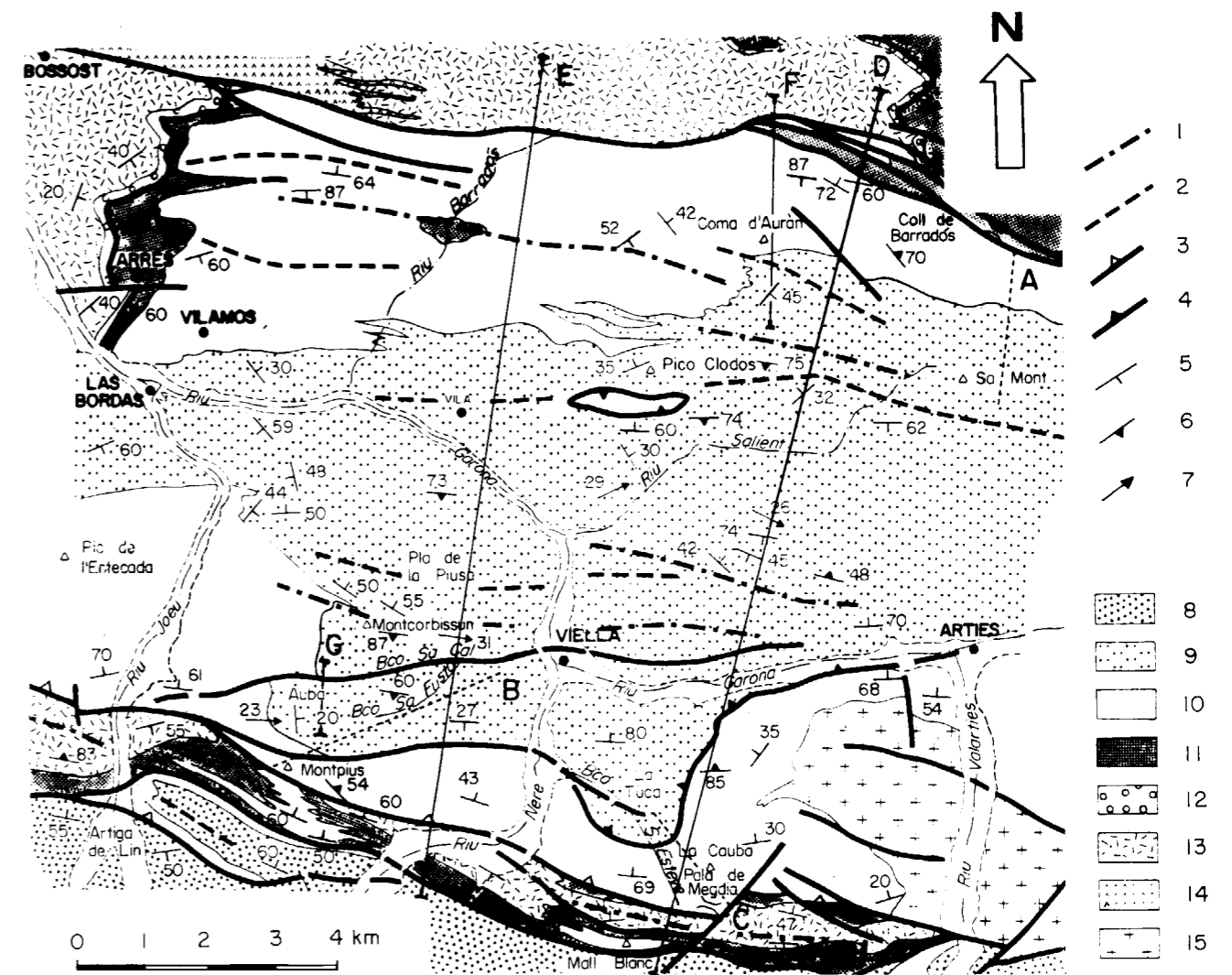


Figura 18.—Mapa geológico del Sinclinorio del Valle de Arán. A, B, C) Situación de las columnas estratigráficas de las figuras 19, 23 y 25, respectivamente. D y E) Situación de los cortes geológicos de la figura 66. F) Corte geológico de la figura 74. G) Corte geológico de la figura 75. 1) Anticlinal. 2) Sinclinal. 3) Cabalgamiento. 4) Cabalgamiento supuesto. 5) Estratificación. 6) Clivaje principal. 7) Eje de pliegue. 8) Grauvacas y lutitas carboníferas. 9) Areniscas de las Bordas. 10) Calizas y pizarras devónicas. 11) Ampelitas silúricas. 12) Conglomerados, areniscas y lutitas del Ordovícico Superior. 13) Areniscas, lutitas y calizas cambro-ordovícicas. 14) Leucogranitos y pegmatitas. 15) Granodioritas.

pizarras y una parte superior de areniscas y lutitas verdosas (Areniscas de Las Bordas) (figura 19).

La descripción de esta sucesión estratigráfica, de muro a techo, es la siguiente:

— Caliza Basal

En la Zona Axial pirenaica, desde antiguo, viene

siendo descrito un grueso nivel de calizas, que por lo general es masiva y contiene abundantes corales. En diferentes áreas recibió varios nombres. Así, DALLONI (1910) la denominó «Calcaire à Polypiers»; JACQUOT (1890) y BRESSON (1903), Caliza «Dalle»; MEY (1967, 1968), Caliza Basibé; y KLEINSMIEDE, en el Valle de Arán, la denominó Caliza Basal. La edad de este característico nivel fue obtenida con conodontos en diferentes lugares. Así, JOSEPH et al.

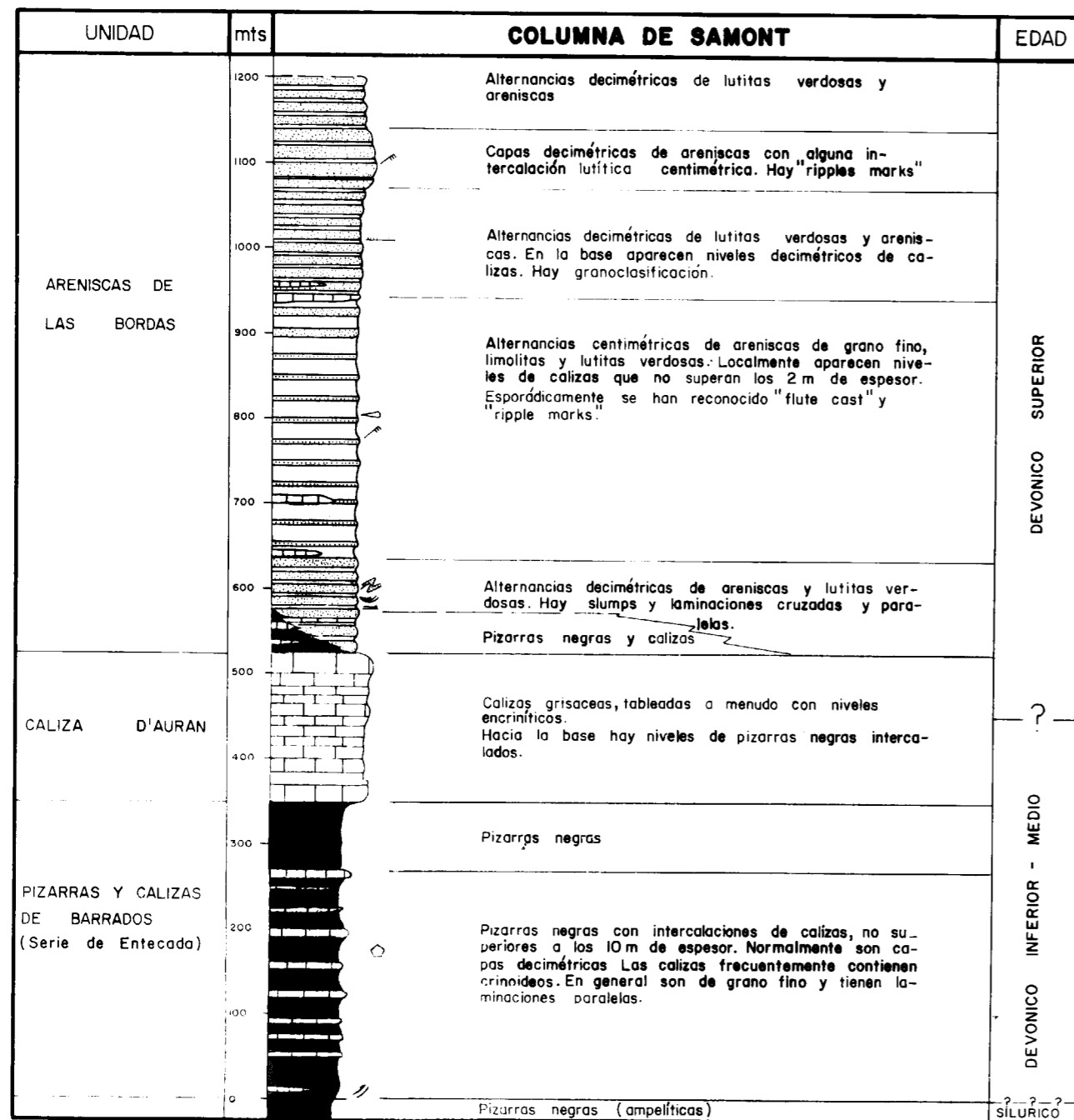


Figura 19.—Columna estratigráfica de la sucesión devónica del flanco norte del Sinclinorio del Valle de Arán. Serie de Sa Mont. Situación en figura 18.

(1980 y 1984), en el Pirineo occidental, la dataron como Givetiense-Frasniense. BOERSMA (1973), en el Pirineo central y oriental, obtuvo una edad de Praguense-Emsiense. Como puede observar-

se, y a la vista de estos datos, hay varios niveles de calizas con corales, que, dependiendo de la zona en que se encuentren, tienen edades diferentes.

La Caliza Basal no aparece representada en la columna estratigráfica de la figura 19, debido a que en este sector la base de esta sucesión se ve afectada por fracturas que suprimen este nivel. Sin embargo, en áreas próximas situadas algo más al norte, concretamente en el borde SE del Domo del Garona, al NE del Coll de Barradós (fig. 10), aparecen diversos afloramientos aislados de rocas calcáreas, que se disponen directamente sobre las ampelitas del Silúrico y deben corresponder a la Caliza Basal, descrita por KLEINSMIEDE (1960). En la mitad inferior se observan unas alternancias de calizas y pizarras y en la superior unas calizas masivas grises o blancas, casi siempre muy recristalizadas. Las alternancias calcáreo-pizarrosas basales pueden considerarse equivalentes a otras alternancias similares descritas por LOSANTOS et al. (1986) y PALAU y SANZ (1989), en la zona de Marimanya, al oeste del área estudiada, donde estos autores las asignaron al Silúrico Superior (?) Praguense. La parte superior, masiva, de la Caliza Basal, se puede considerar equivalente a las Calizas de Campaus, localizadas en la zona de Marimanya, de edad Emsiense Inferior, e incluso Gedinnien-Siegeniense, según la datación con conodontos realizada por PALAU y SANZ (1989).

— Pizarras y calizas de Barradós (Serie de Entecada)

Son lutitas negras entre las que esporádicamente se reconocen intercalaciones centimétricas o milimétricas de areniscas de grano fino. A menudo afloran capas de calizas, que rara vez superan los 10 metros de espesor, y que, por lo general, son capas decimétricas de calizas micríticas con frecuentes laminaciones paralelas. El espesor total de esta unidad es de aproximadamente 300 m. Es bastante común que estos niveles calcáreos contengan crinoideos; sin embargo, en esta zona no se han encontrado fósiles con valor cronoestratigráfico.

Esta serie se reconoce bastante bien entre el Coll de Barradós y el Tuc de Sa Mont (fig. 18), en donde aflora inmediatamente por encima de las ampelitas del Silúrico, por lo que parece lógico suponer que faltan algunos metros de serie en la parte inferior. Estos materiales son similares a la Serie de Entecada descrita por KLEINSMIEDE (1960) y que aflora dentro del área estudiada.

También se pueden considerar equivalentes a la Serie de la Perosa descrita por LOSANTOS et al. (1986), en la zona de Marimanya, para la cual se han obtenido conodontos de edades que van desde el Emsiense Inferior hasta el Givetiense (PALAU y SANZ, 1989). BODIN (1988), en la zona del puerto de Salau, al NE de Marimanya, obtuvo conodontos del Emsiense Superior-Eifeliense Inferior para niveles equivalentes a los descritos.

— Caliza de Aurán

KLEINSMIEDE (1960) consideró que todos los gruesos niveles de calizas que afloran por debajo de las Areniscas de las Bordas, y que circundan el Sinclinorio del Valle de Arán, correspondían a la Caliza Basal. Sin embargo, debido a la ausencia de fósiles que permitan datar con precisión estos materiales, en el presente trabajo se duda de la plena validez de esta correlación.

En el flanco septentrional del Sinclinorio del Valle de Arán, se ha denominado Caliza de Aurán a un nivel de calizas grisáceas, tableadas y con un espesor variable en torno a los 150 m. A menudo presentan niveles encriníticos y es frecuente reconocer la presencia de corales solitarios. Hasta el momento actual, los restos encontrados carecen de valor cronoestratigráfico. En un sector muy próximo al área estudiada, más concretamente, en el barranco de Parros, al este del Tuc de Sa Mont y norte del Pla de Beret, han sido datados niveles de calizas equivalentes al aquí descrito. La edad obtenida es de Givetiense-Frasniense (J. SANZ *, com. pers.).

En el núcleo del Sinclinorio del Valle de Arán, en la zona del pico Clodos, aflora una serie de areniscas y lutitas pertenecientes a la unidad suprayacente (Areniscas de las Bordas). Si se efectúa un corte en estos materiales se observa que están plegados en sinclinal y que en su núcleo afloran unas calizas comparables a la Caliza de Aurán (fig. 20). De ella se han obtenido restos de conodontos, muy fragmentados, pertenecientes a las especies *Polygnathus linguiformis linguiformis* e *Icriodus* sp., que permiten atribuir estos materiales al Eifeliense Superior - Frasniense Inferior. Estas calizas se encuentran so-

* División de Geología (ITGE). Jaca.

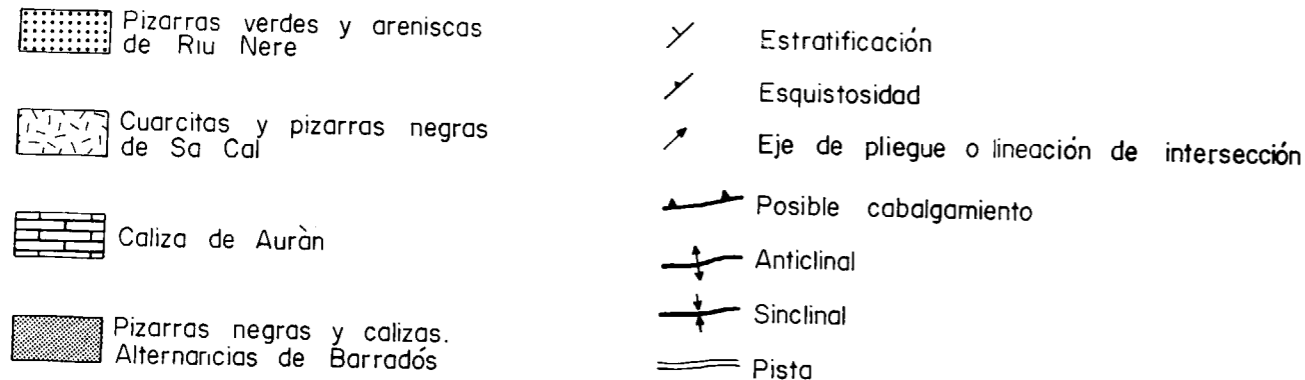
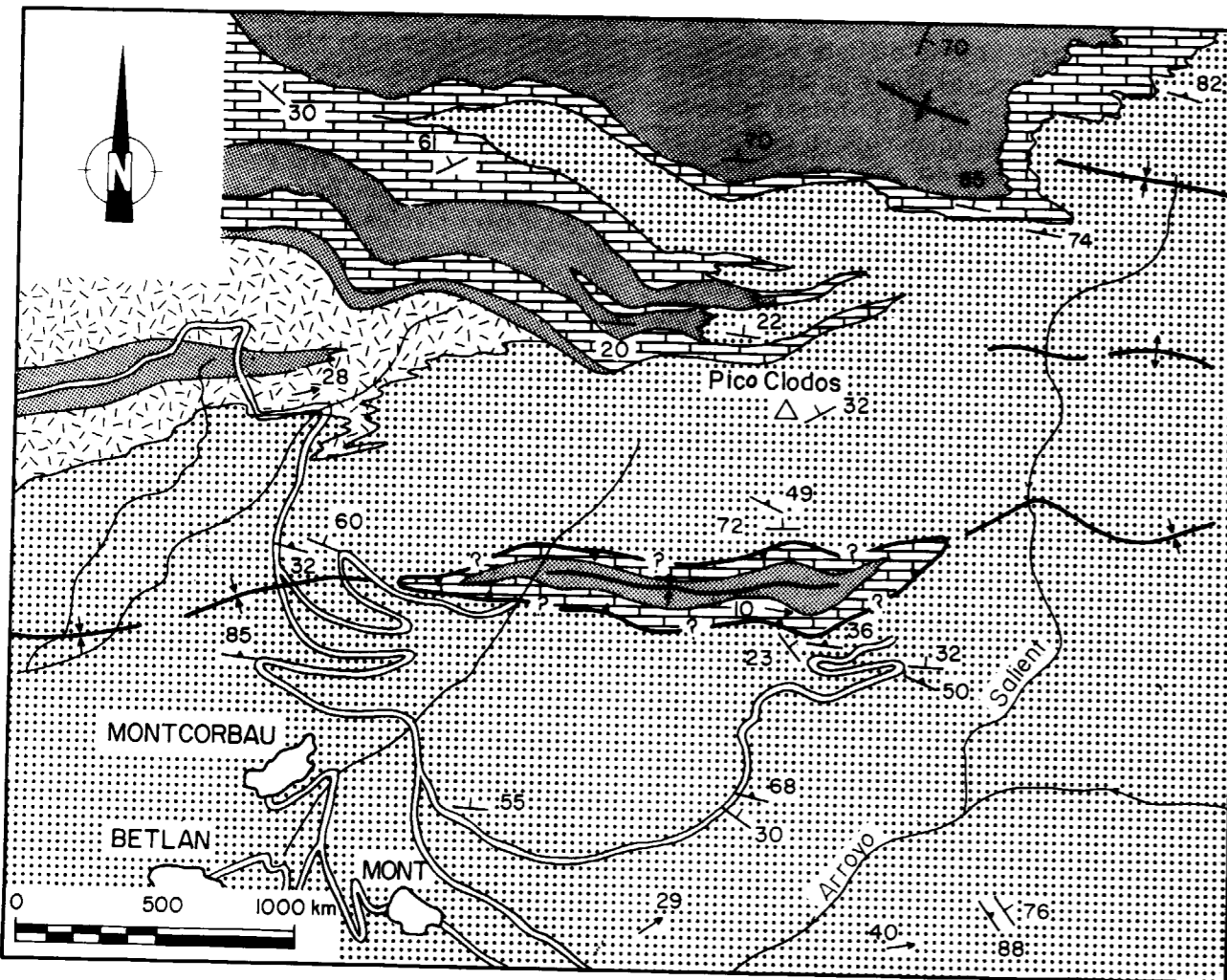


Figura 20.—Esquema geológico de la zona del pico Clodos, donde se observan unas calizas en el núcleo de un sinclinal, con Areniscas de las Bordas en los flancos. Es posible que las calizas sean más antiguas que la serie siliciclástica, por lo que se supone que el contacto corresponda a un cabalgamiento.

bre una sucesión estratigráfica presumiblemente más moderna, lo cual ha sido interpretado como debido a la posible existencia de cabalgamientos previos a la fase principal de plegamiento en este sector.

— Areniscas de las Bordas

En el flanco norte del Sinclinorio del Valle de Arán aflora una sucesión de Areniscas bastante monótona, donde es difícil realizar la separación de subunidades en la cartografía geológica. En conjunto, está constituida por una serie de areniscas y lutitas verdosas con esporádicas intercalaciones calcáreas, siendo el espesor total de aproximadamente 600 m.

En los 100 metros basales de esta sucesión estratigráfica aparecen alternancias decimétricas de areniscas amarillentas y lutitas verdosas, con finas capas de caliza intercaladas. En las capas de arenisca es frecuente encontrar granoclasificaciones, laminaciones paralelas y cruzadas de pequeña escala. También son frecuentes los niveles deslizados con la aparición de «slumps».

En la parte intermedia afloran unos 300 metros de alternancias centimétricas de areniscas de grano fino, limolitas y lutitas verdosas. Localmente, se pueden reconocer niveles de calizas micríticas o microesparíticas con un espesor que no supera los 2 metros. Las capas de arenisca, también presentan «ripple marks», «flute cast» y granoclasificaciones (fig. 21).

La parte más alta de la serie más arenosa, y está constituida por unos 250 metros de alternancias decimétricas de areniscas amarillentas y lutitas verdosas, con algunos niveles de calizas intercaladas que desaparecen hacia el techo. Entre las estructuras sedimentarias es frecuente observar la presencia de granoclasificaciones y «ripple marks».

En esta sucesión siliciclástica es difícil encontrar restos fósiles. Por otra parte, entre los niveles calcáreos se han recogido muestras para realizar el estudio de conodontos, sin localizar ningún resto que permitiese dar una edad precisa. Los únicos datos con valor cronoestratigráfico que se han obtenido corresponden a un afloramiento situado al norte del Pic d'Espigado, en la margen izquierda del arroyo de Salient, donde

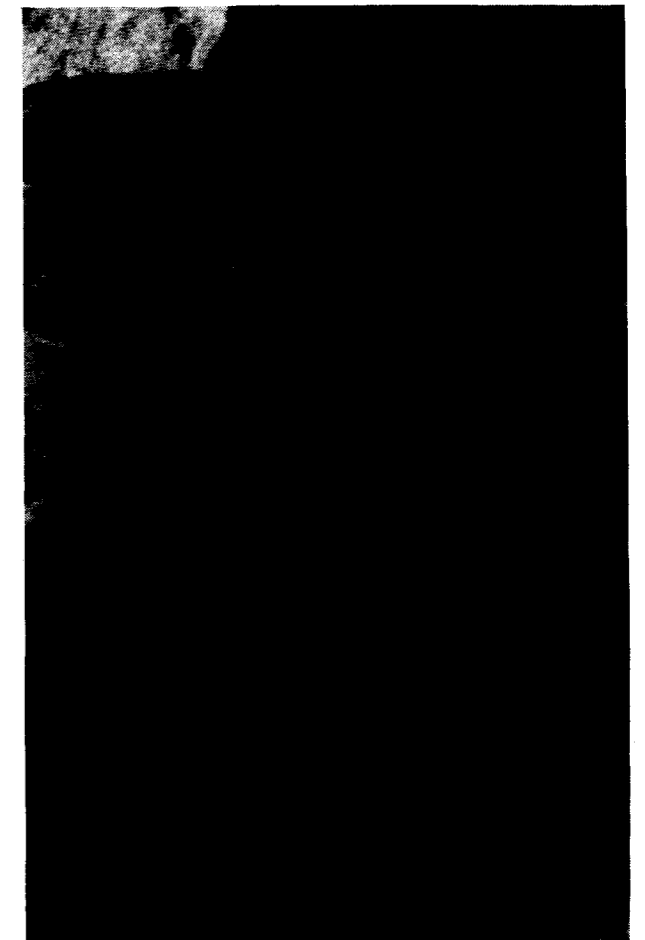


Figura 21.—«Flute cast» en las Areniscas de las Bordas (pizarras y areniscas de Riu Nere). Proximidades del Tuc de Sa Mont.

se localizó un yacimiento de corales solitarios entre unas lutitas negras de la serie de Areniscas de las Bordas (fig. 22). En él se han reconocido *Angustiphyllum cuneiforme* ALTEVOGT y *Pleurodictium?* sp. La primera especie era considerada hasta ahora como una forma autóctona en la Cordillera Cantábrica, donde se sitúa en el Eifeliense Superior (SOTO *, com. pers.).

b) Sucesión de Montpius-Montcorbissun

Esta serie es muy parecida a la descrita por

* Dpto. Geología (Area Paleontología). Universidad de Oviedo.

bre una sucesión estratigráfica presumiblemente más moderna, lo cual ha sido interpretado como debido a la posible existencia de cabalgamientos previos a la fase principal de plegamiento en este sector.

— Areniscas de las Bordas

En el flanco norte del Sinclinorio del Valle de Arán aflora una sucesión de Areniscas bastante monótona, donde es difícil realizar la separación de subunidades en la cartografía geológica. En conjunto, está constituida por una serie de areniscas y lutitas verdosas con esporádicas intercalaciones calcáreas, siendo el espesor total de aproximadamente 600 m.

En los 100 metros basales de esta sucesión estratigráfica aparecen alternancias decimétricas de areniscas amarillentas y lutitas verdosas, con finas capas de caliza intercaladas. En las capas de arenisca es frecuente encontrar granoclasificaciones, laminaciones paralelas y cruzadas de pequeña escala. También son frecuentes los niveles deslizados con la aparición de «slumps».

En la parte intermedia afloran unos 300 metros de alternancias centimétricas de areniscas de grano fino, limolitas y lutitas verdosas. Localmente, se pueden reconocer niveles de calizas micríticas o microesparíticas con un espesor que no supera los 2 metros. Las capas de arenisca, también presentan «ripple marks», «flute cast» y granoclasificaciones (fig. 21).

La parte más alta de la serie más arenosa, y está constituida por unos 250 metros de alternancias decimétricas de areniscas amarillentas y lutitas verdosas, con algunos niveles de calizas intercaladas que desaparecen hacia el techo. Entre las estructuras sedimentarias es frecuente observar la presencia de granoclasificaciones y «ripple marks».

En esta sucesión siliciclástica es difícil encontrar restos fósiles. Por otra parte, entre los niveles calcáreos se han recogido muestras para realizar el estudio de conodontos, sin localizar ningún resto que permitiese dar una edad precisa. Los únicos datos con valor cronoestratigráfico que se han obtenido corresponden a un afloramiento situado al norte del Pic d'Espiego, en la margen izquierda del arroyo de Salient, donde

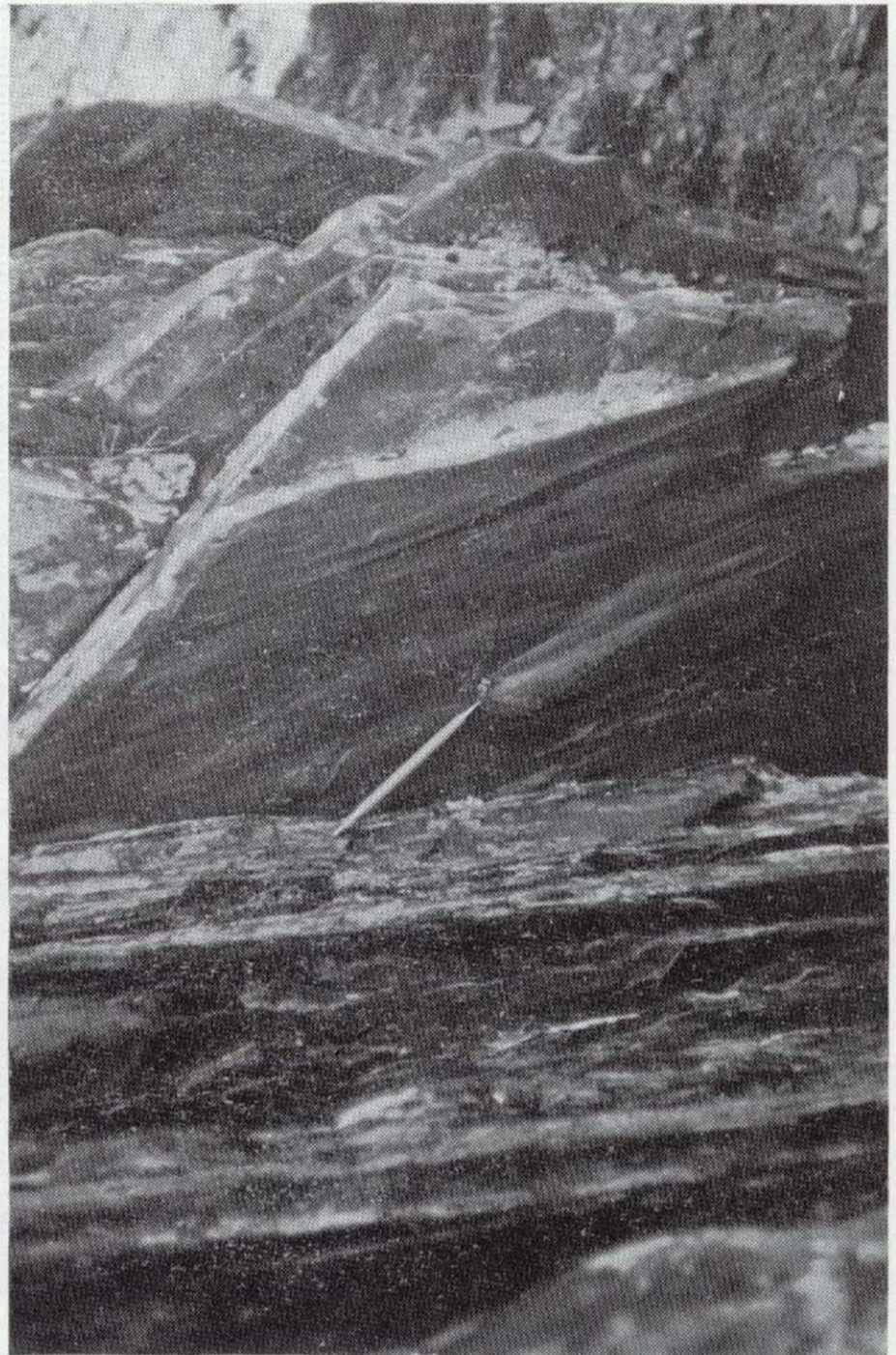


Figura 21.—«Flute cast» en las Areniscas de las Bordas (pizarras y areniscas de Riu Nere). Proximidades del Tuc de Sa Mont.

se localizó un yacimiento de corales solitarios entre unas lutitas negras de la serie de Areniscas de las Bordas (fig. 22). En él se han reconocido *Angustiphyllum cuneiforme* ALTEVOGT y *Pleurodictium?* sp. La primera especie era considerada hasta ahora como una forma autóctona en la Cordillera Cantábrica, donde se sitúa en el Eifeliense Superior (SOTO *, com. pers.).

b) Sucesión de Montpius-Montcorbissun

Esta serie es muy parecida a la descrita por

* Dpto. Geología (Area Paleontología). Universidad de Oviedo.

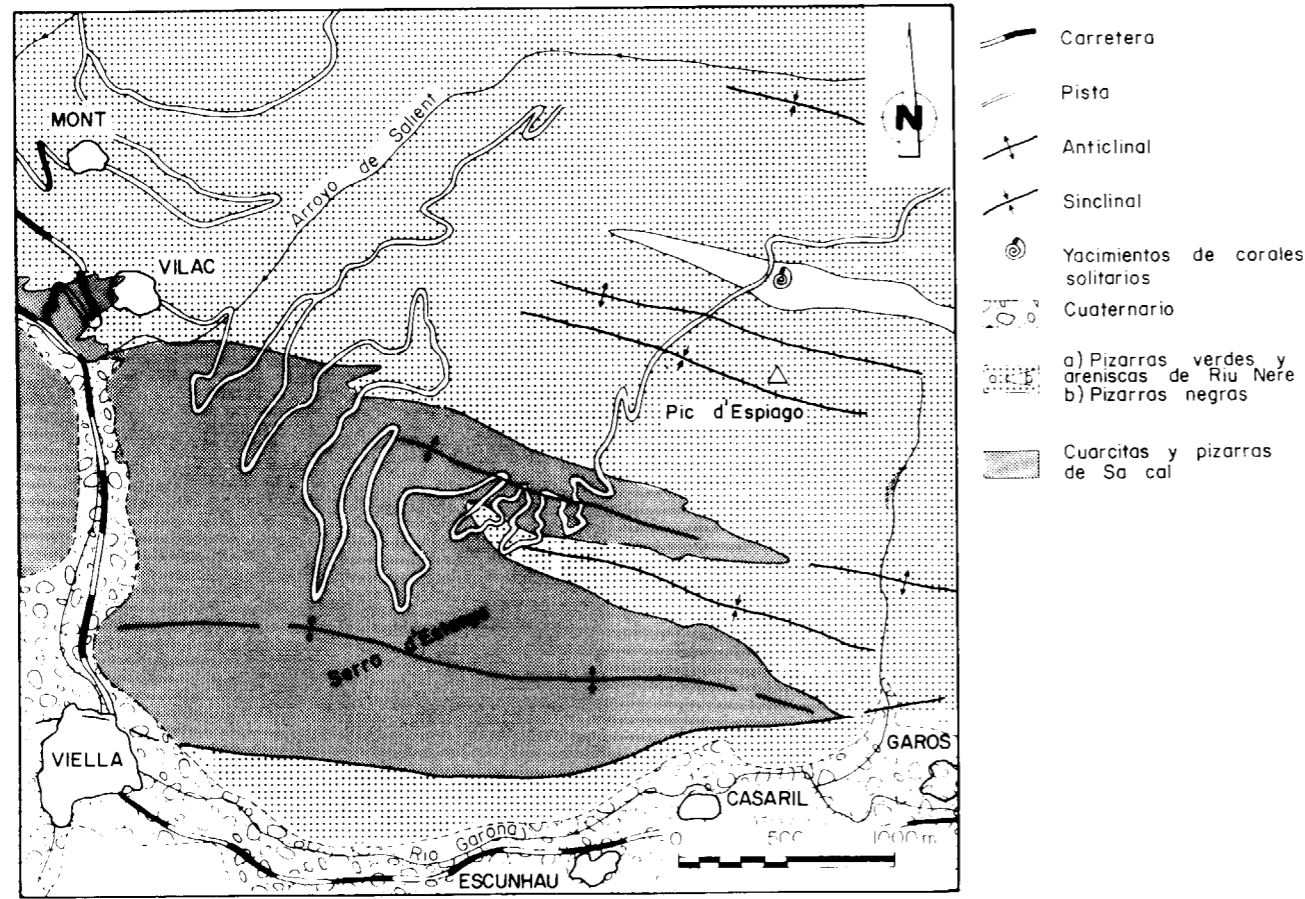


Figura 22.—Esquema de situación del yacimiento de corales solitarios en las Areniscas de las Bordas, que afloran al sur del Tuc de Sa Mont.

KLEINSMIEDE (1960), aunque existen algunas diferencias, sobre todo en los términos superiores, donde algunos niveles se han podido datar con conodontos. La sucesión litológica se muestra en la figura 23, y, de muro a techo, es la siguiente:

— Caliza Basal

En el flanco sur del Sinclinorio del Valle de Arán esta unidad litológica aflora directamente sobre las ampelitas negras del Silúrico, aunque este contacto se encuentra afectado por algunas fracturas. En este mismo corte, KLEINSMIEDE (1960) definió la Caliza Basal.

Son calizas grises con intercalaciones lutíticas, ricas en chert y frecuentemente dolomitizadas.

En este sector, el espesor es de unos 150 m. Como la base de estas calizas se encuentra afectada por fallas, no es posible saber si falta serie. No existen datos paleontológicos en esta zona que permitan conocer su edad.

— Pizarras y calizas de Entecada

Esta unidad fue definida por KLEINSMIEDE (1960). Está constituida por lutitas negras con delgadas capas de areniscas de grano fino, y ocasionalmente con capas de caliza intercaladas. Las calizas son grises o negras, con pátina ocre, a menudo con abundantes restos fósiles (crinoides, braquiópodos..., etc.). Estos niveles calcáreos tienen un alto contenido en chert y pirita, encontrándose en general recrystalizados. Los es-

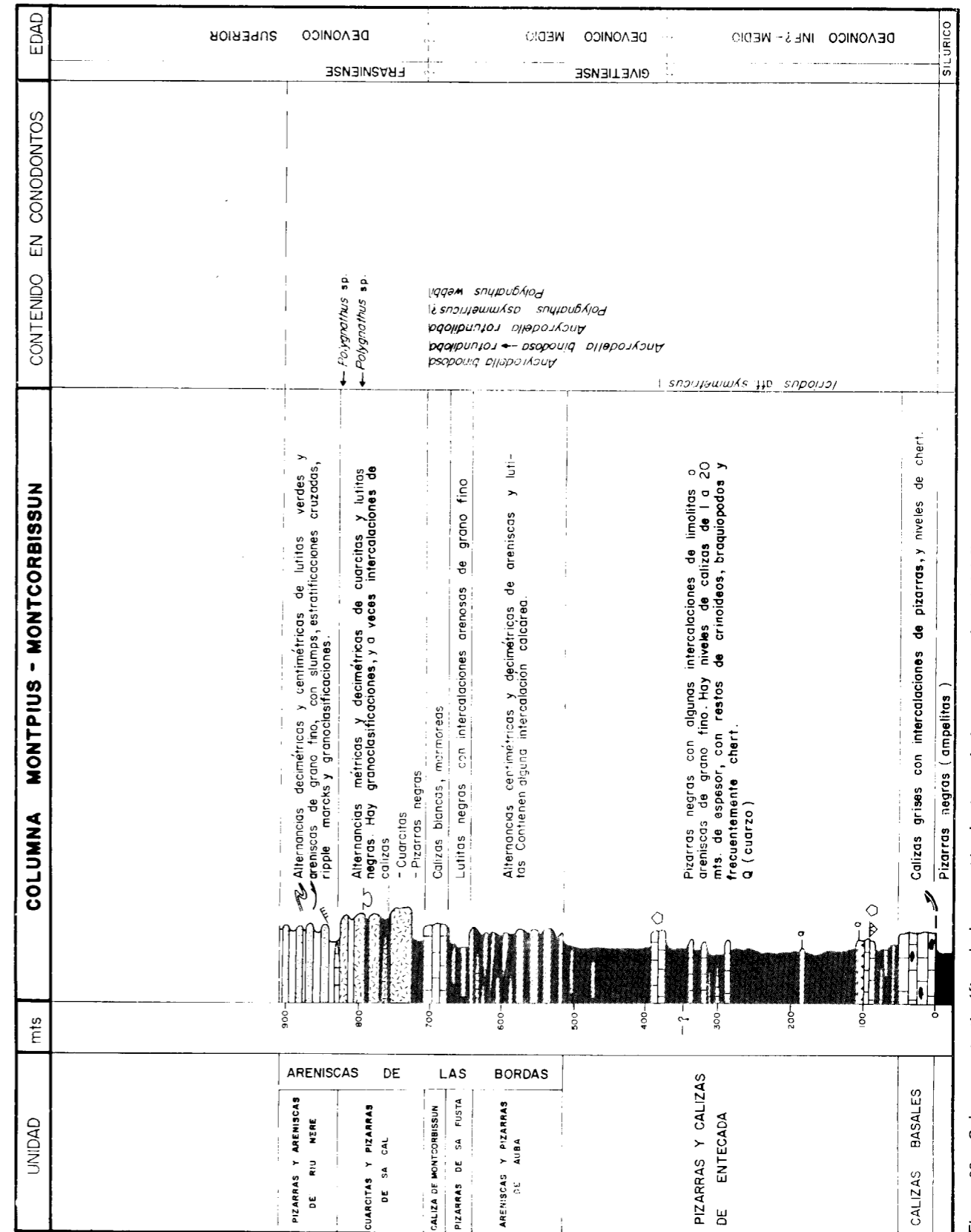


Figura 23.—Columna estratigráfica de la sucesión devónica de la parte occidental del flanco sur del Sinclinorio del Valle de Arán. Serie de Montpius-Montcorbissun. Situación en figura 18.

pesores oscilan entre varios centímetros y 20 metros como máximo. Los últimos 20 metros están constituidos únicamente por lutitas negras y esporádicas intercalaciones arenosas de escala centimétrica. La potencia total de esta unidad es de aproximadamente 470 metros.

En el nivel de calizas más próximo al techo de esta unidad han aparecido restos de conodontos pertenecientes a la especie *Icriodus aff. symmetricus*, que en la Cordillera Cantábrica se encuentran en el Givetiense Superior (RAVEN, 1983, y GARCIA-LOPEZ, 1987). Esta edad puede ser correcta basándose en la posición estratigráfica de la serie de Entecada, y más aún si tenemos en cuenta que en las mismas capas BUCHROITHNER (1978) halló conodontos de la especie *Polygnathus dengleri*. Esta edad puede ser coherente con la obtenida al este del área estudiada, en la zona de Marimanya, por PALAU y SANZ (1989) para la serie de la Perosa, a la que atribuyen una edad Emsiense Inferior-Givetiense.

— Areniscas de Las Bordas

Este conjunto de materiales tiene en común el poseer un carácter claramente siliciclástico, pues, salvo en el caso de «la Caliza de Montcorbissun» y esporádicos niveles de calizas que nunca superan los tres metros de espesor, el resto de la sucesión es predominantemente lutítico-arenosa.

De muro a techo se han distinguido los siguientes términos:

- Areniscas de Auba.
- Pizarras de Sa Fusta.
- Caliza de Montcorbissun.
- Cuarcitas de Sa Cal.
- Pizarras verdes y areniscas de Riu Nere.

— Areniscas de Auba

Estos materiales corresponden a lo que KLEINSMIEDE (1960) denominó «Areniscas litorales», sin duda haciendo referencia al supuesto medio sedimentario en que se depositaron.

Constituyen una sucesión de aproximadamente 130 metros de espesor, formada por alternancias centimétricas y milimétricas de areniscas de grano fino y lutitas. El predominio arenoso se hace

más patente en los tramos de la parte inferior. En el pico Montcorbissun, a escasos metros del techo, se ha reconocido un nivel de unos tres metros de espesor de calizas grises y negras muy recristalizadas.

Esta unidad es muy característica y desaparece alteralmente hacia el norte y hacia el oeste, teniendo una extensión muy limitada (mapa geológico núm. 1). Nunca ha sido citada la existencia de restos fósiles en estos materiales.

— Pizarras de Sa Fusta

En este sector, por encima de las areniscas descritas anteriormente, afloran unos 30 metros de lutitas negras, encontrándose bien representadas al norte del pico Montpius. Localmente, a techo, aparecen aproximadamente 5 metros de areniscas de grano fino muy parecidas a las areniscas y pizarras de Auba.

— Caliza de Montcorbissun

Se encuentra muy bien representada por el pico Montcorbissun y en la cresta que separa los barrancos de Sa Fusta y de Sa Cal (fig. 18). Son unas calizas grises y blancas de unos 30 metros de espesor. En general son de grano fino, aunque con frecuencia están dolomitizadas. Esta unidad calcárea aflora casi siempre destacando entre las formaciones arenosas, por lo que es un buen nivel guía que dibuja bien la estructura; sin embargo, su extensión lateral es muy limitada (mapa geológico núm. 1).

En el techo de esta caliza ha aparecido un conjunto de fauna de conodontos que, según la clasificación realizada por GARCIA-LOPEZ et al. (1990b), está constituida por las siguientes especies:

- Ancyrodella binodosa*
- Ancyrodella binodosa* → *rotundiloba*
- Ancyrodella rotundiloba*
- Polygnathus asymmetricus?*
- Polygnathus webbi*

Esta asociación faunística representa la parte basal de la Biozona de *P. asymmetricus* inferior y permite atribuir estos niveles al Frasnense más bajo. Por su edad y posición estratigráfica, estas calizas pueden considerarse equivalentes

a la Caliza de Auràn, situada en el flanco norte del Sinclinorio del Valle de Arán.

— Cuarcitas y pizarras de Sa Cal

Esta unidad corresponde a la que KLEINSMIEDE (1960) denominó «Areniscas no gradadas». Están bien representadas en todo el flanco sur del Sinclinorio del Valle de Arán. Sin embargo, en el flanco norte de esta macroestructura ya no afloran.

Se han diferenciado tres tramos que, de muro a techo, son los siguientes:

- a) Lutitas negras: Unos 15 metros de lutitas negras que se sitúan por encima de las calizas de Montcorbissun.
- b) Cuarcitas: Es un nivel de cuarcitas oscuras de 30 metros de espesor como máximo que lateralmente desaparecen hacia el norte y hacia el este, aunque allí donde afloran constituyen un buen nivel guía, por lo cual se han representado en la cartografía (mapa geológico núm. 1).
- c) Cuarcitas y lutitas: Consta de aproximadamente 75 metros de alternancias métricas y decimétricas de cuarcitas y lutitas negras. Entre las estructuras sedimentarias se pueden encontrar granoclasificaciones, laminaciones paralelas y cruzadas, así como estructuras de carga (fig. 24). Ocasionalmente se observa la presencia de capas de calizas de grano fino de color gris, cuyo espesor varía entre 10 y 50 cm.

— Pizarras verdes y areniscas de Riu Nere

Constituye una sucesión siliciclástica a la que KLEINSMIEDE (1960) denominó «Areniscas gradadas». Afloran por encima de las alternancias de Sa Cal, separadas casi siempre de ellas por un nivel de calizas micríticas grises de 0,5 a 2 metros de espesor. Las alternancias de Riu Nere están formadas por capas decimétricas y centimétricas de lutitas verdosas, a veces grises, y areniscas de grano fino. Se reconocen diversas estructuras sedimentarias, entre las que cabe destacar granoclasificaciones, laminaciones paralelas y cruzadas, «ripple marks» y «slumps» de escala centimétrica. La presencia de estas es-



Figura 24.—Estructuras de carga en las Areniscas de las Bordas (cuarcitas y pizarras de Sa Cal). Localidad situada al sur de Viella.

estructuras indica que estos materiales se han depositado en un medio inestable.

En lo referente a la edad de estas rocas, se han recogido varias muestras para el estudio de su contenido en conodontos; sin embargo, ninguna de ellas ha aportado restos fósiles que den idea de la edad de estos materiales.

c) Sucesión de la Tüca

La sucesión de la Tüca (fig. 25) se sitúa en la parte oriental del flanco sur del Sinclinorio del Valle de Arán y difiere de las sucesiones estratigráficas anteriormente descritas, en el gran desarrollo de calizas que se observa en este sector. De muro a techo la descripción es la siguiente:

— Caliza Basal

La Caliza Basal se sitúa sobre las ampelitas del Silúrico, encontrándose el contacto afectado por fallas. En total son unos 75 metros de calizas tableadas que en la base son micríticas y de color gris. Hacia el techo pasan a dolomías o calizas dolomitizadas, blancas y masivas.

— Pizarras de Pala de Megdía

Son aproximadamente 150 metros de lutitas negras, entre las que ocasionalmente se intercalan niveles limolíticos o de areniscas de grano fino,

a la Caliza de Auràn, situada en el flanco norte del Sinclinorio del Valle de Arán.

— Cuarcitas y pizarras de Sa Cal

Esta unidad corresponde a la que KLEINSMIEDE (1960) denominó «Areniscas no gradadas». Están bien representadas en todo el flanco sur del Sinclinorio del Valle de Arán. Sin embargo, en el flanco norte de esta macroestructura ya no afloran.

Se han diferenciado tres tramos que, de muro a techo, son los siguientes:

- Lutitas negras: Unos 15 metros de lutitas negras que se sitúan por encima de las calizas de Montcorbissun.
- Cuarcitas: Es un nivel de cuarcitas oscuras de 30 metros de espesor como máximo que lateralmente desaparecen hacia el norte y hacia el este, aunque allí donde afloran constituyen un buen nivel guía, por lo cual se han representado en la cartografía (mapa geológico núm. 1).
- Cuarcitas y lutitas: Consta de aproximadamente 75 metros de alternancias métricas y decimétricas de cuarcitas y lutitas negras. Entre las estructuras sedimentarias se pueden encontrar granoclasificaciones, laminaciones paralelas y cruzadas, así como estructuras de carga (fig. 24). Ocasionalmente se observa la presencia de capas de calizas de grano fino de color gris, cuyo espesor varía entre 10 y 50 cm.

— Pizarras verdes y areniscas de Riu Nere

Constituye una sucesión siliciclástica a la que KLEINSMIEDE (1960) denominó «Areniscas gradadas». Afloran por encima de las alternancias de Sa Cal, separadas casi siempre de ellas por un nivel de calizas micríticas grises de 0,5 a 2 metros de espesor. Las alternancias de Riu Nere están formadas por capas decimétricas y centimétricas de lutitas verdosas, a veces grises, y areniscas de grano fino. Se reconocen diversas estructuras sedimentarias, entre las que cabe destacar granoclasificaciones, laminaciones paralelas y cruzadas, «ripple marks» y «slumps» de escala centimétrica. La presencia de estas es-

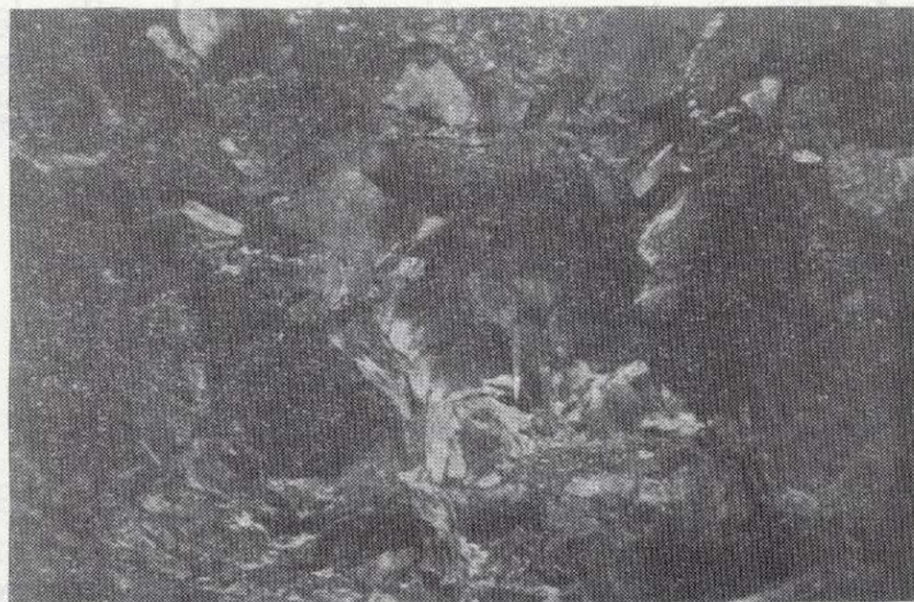


Figura 24.—Estructuras de carga en las Areniscas de las Bordas (cuarcitas y pizarras de Sa Cal). Localidad situada al sur de Viella.

tructuras indica que estos materiales se han depositado en un medio inestable.

En lo referente a la edad de estas rocas, se han recogido varias muestras para el estudio de su contenido en conodontos; sin embargo, ninguna de ellas ha aportado restos fósiles que den idea de la edad de estos materiales.

c) Sucesión de la Tüca

La sucesión de la Tüca (fig. 25) se sitúa en la parte oriental del flanco sur del Sinclinorio del Valle de Arán y difiere de las sucesiones estratigráficas anteriormente descritas, en el gran desarrollo de calizas que se observa en este sector. De muro a techo la descripción es la siguiente:

— Caliza Basal

La Caliza Basal se sitúa sobre las ampelitas del Silúrico, encontrándose el contacto afectado por fallas. En total son unos 75 metros de calizas tableadas que en la base son micríticas y de color gris. Hacia el techo pasan a dolomías o calizas dolomitizadas, blancas y masivas.

— Pizarras de Pala de Megdia

Son aproximadamente 150 metros de lutitas negras, entre las que ocasionalmente se intercalan niveles limolíticos o de areniscas de grano fino,

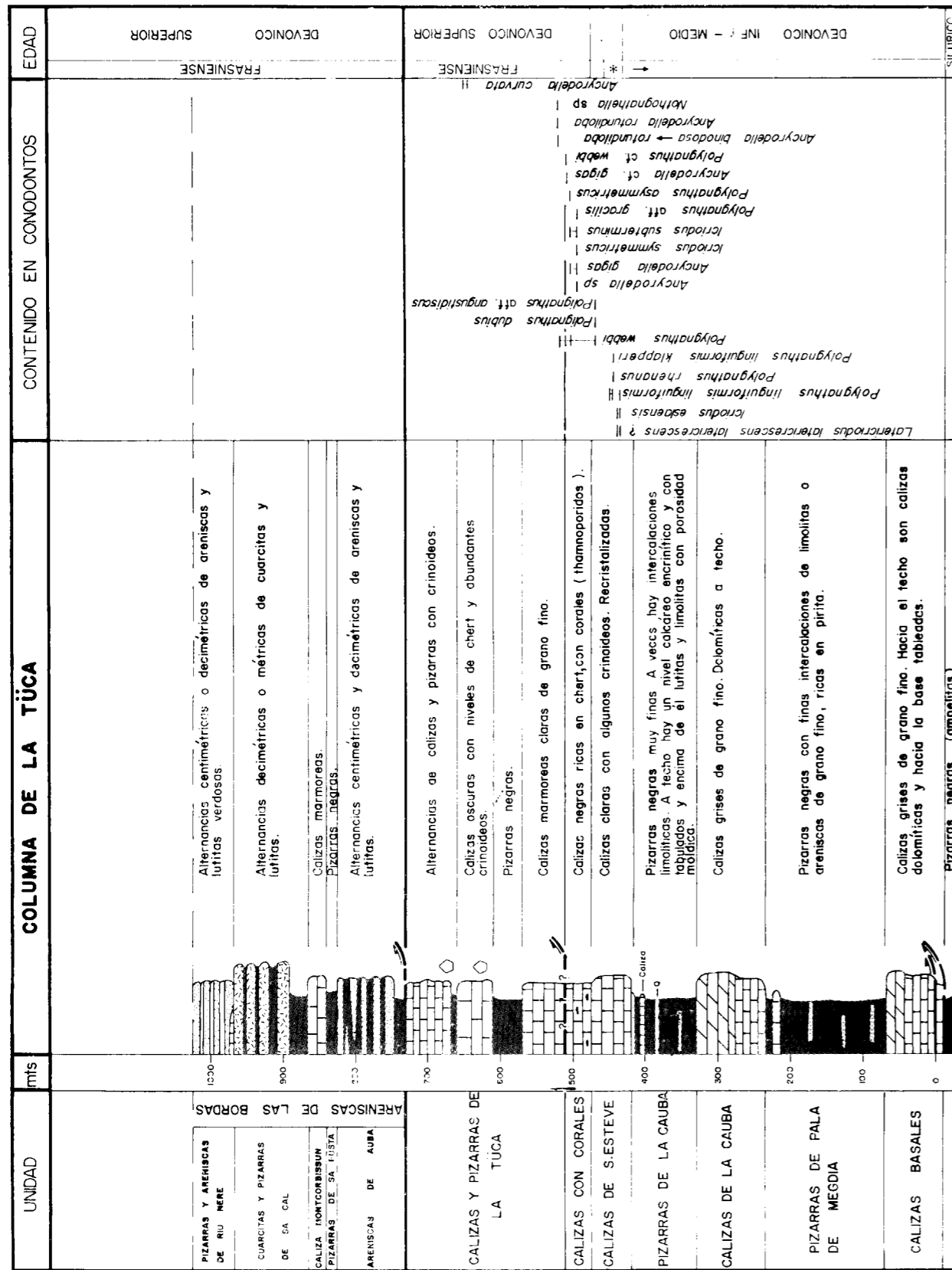


Figura 25.—Columna estratigráfica de la sucesión devónica de la parte oriental del flanco sur del Sinclinorio del Valle de Arán. Serie de La Tüca. Situación en figura 18.

muy delgados, siendo característico en estos materiales el alto contenido en piritita. En la parte superior aparece intercalado entre las pizarras un nivel de dolomías amarillentas de unos 10 metros de espesor.

— Calizas y dolomías de la Cauba

El espesor total es de unos 70 metros, de los cuales los 20 primeros son calizas grises micríticas. Hacia el techo se pasa gradualmente a dolomías blancas, muy masivas, de casi 40 metros de espesor.

— Pizarras de la Cauba

Constituyen una unidad de 90 metros de lutitas negras, distinguiéndose, de base a techo, los siguientes niveles:

- 33 metros de lutitas azuladas de grano muy fino.
- 11 metros de lutitas y algunas areniscas micáceas, de grano fino, ricas en piritita.
- 15 metros de lutitas negras de grano fino en las que es frecuente encontrar niveles de cuarzo, posiblemente debido a causas tectónicas (deslizamientos entre capas).
- 13 metros de lutitas negras con abundantes niveles de cuarzo.
- 0,4 metros de calizas negras encriníticas con algunos corales.
- 12 metros de lutitas finas, pudiendo encontrarse niveles limolíticos.
- 6 metros de pizarras, entre las que se reconocen moldes de crinoideos y abundantes niveles de cuarzo, posiblemente debidos a deslizamientos entre capas, producidos durante el plegamiento de estos materiales.

— Calizas de San Esteve

Son calizas blancas, a veces grises y recristalizadas, de aspecto masivo, entre las que se suelen encontrar algunos tallos de crinoideos. Su espesor es de unos 55 metros.

En la mitad inferior de estas calizas se han encontrado varias especies de conodontos, cuya

clasificación y atribución cronoestratigráfica ha sido realizada por S. GARCIA-LOPEZ*. Las especies de conodontos obtenidas son las siguientes:

- Lateriodus latericrescens latericrescens*
- Icriodus eslaensis*
- Polygnathus linguiformis linguiformis*
- Polygnathus rhenanus*
- Polygnathus klapperi*

Esta asociación faunística permite atribuir este tramo al Givetiense Superior.

En la mitad superior de las Calizas de San Esteve, las especies de conodontos encontradas son las siguientes:

- Polygnathus webbi*
- Polygnathus dubius*
- Polygnathus aff. angustidiscus*

— Calizas con corales

Se ha denominado así a un conjunto de más de 40 metros de espesor, de calizas negras, tableadas, con abundantes niveles ricos en sílice (chert), hasta el punto de existir alternancias centimétricas de estos niveles silíceos y de caliza. En ellas se han reconocido faunas de crinoideos y de corales silicificados (Thamnoporidos).

En la mitad superior de estas calizas se han encontrado algunos niveles con conodontos pertenecientes a las siguientes especies:

- Polygnathus webbi*
- Ancyrodella sp.*
- Ancyrodella gigas*
- Icriodus symmetricus*
- Icriodus subterminus*
- Polygnathus aff. gracilis*
- Polygnathus asymmetricus*
- Ancyrodella cf. gigas*
- Polygnathus cf. webbi*

La asociación de conodontos de la unidad anterior (Calizas de S. Esteve), y la descrita dentro de este término situarían el paso Givetiense Superior-Frasniense dentro de la última unidad.

* Dpto. Geología (Area Paleontología). Universidad de Oviedo.

— Calizas y pizarras de La Túca

Es una sucesión de unos 220 metros de espesor en la que alternan potentes bancos de calizas con niveles lutíticos. De muro a techo la descripción de los tramos es la siguiente:

- 50 metros de calizas grises recristalizadas, de grano fino y con algunos restos de crinoides. En este nivel ha aparecido fauna de conodontos en diferentes muestras. Las especies encontradas, según su orden de aparición, son:

Ancyrodella rotundiloba?
Ancyrodella binodosa
Ancyrodella rotundiloba
Nothognathella sp.
Polygnathus webbi

Este conjunto de especies se encuentran en la Biozona de *P. asymmetricus* inferior y parte baja de *P. asymmetricus* medio de edad Frasnense.

El hecho de que aparezcan estas especies del género *Ancyrodella*, por encima de la especie *A. gigas*, del tramo anterior (Calizas con corales), da pie a pensar en la existencia de algún cabalgamiento o bien a procesos de resedimentación que superponen rocas con faunas más antiguas sobre otras más modernas.

- 40 metros de pizarras negras y monótonas.
- 40 metros de calizas negras y grises, entre las que a veces es posible reconocer niveles enriquecidos en chert semejantes a los de las calizas con corales. En la parte alta de este tramo se han recogido ejemplares de conodontos pertenecientes a la especie *Ancyrodella curvata*, que se encuentra desde la base de la Biozona de *P. asymmetricus* superior hasta el techo de la Biozona de *Palmatolepis triangularis* inferior, de edad Frasnense.
- 10 metros de lutitas y limolitas negras.
- 60 metros de alternancias decimétricas y métricas de calizas grises micríticas y lutitas. Cerca de la base de este tramo se han reconocido delgados niveles de calizas rosadas.
- 20 metros de lutitas negras.

d) Correlación entre las sucesiones devónicas del Sinclinorio del Valle de Arán

Con el panel de la figura 26 se sugiere una correlación litoestratigráfica, basada en datos bioestratigráficos, de las tres sucesiones devónicas descritas en el Valle de Arán.

A la vista del diagrama de la figura 26 se puede observar que hay una gran diferencia, en cuanto a las litologías se refiere, entre la sucesión estratigráfica de la Túca y las otras dos. Es posible que esta diferencia sea debida a que originalmente estas series estaban muy alejadas, y que actualmente se encuentran en esta posición debido a la presencia de cabalgamientos. Existe alguna evidencia de la posible existencia de estas estructuras, como es el hecho de que la sucesión de la Túca se encuentre por debajo de las Areniscas de las Bordas, que tiene una edad claramente más antigua que el techo de dicha sucesión.

Por otra parte, las dos columnas estratigráficas situadas en el flanco meridional del Sinclinorio del Valle de Arán, parcialmente correlacionadas y datadas basándose en criterios bioestratigráficos y litoestratigráficos, se pueden comparar con la columna de Sa Mont. Sin embargo, esta correlación se basa fundamentalmente en criterios litoestratigráficos, hecho que plantea algunos problemas. En la sección de Sa Mont, la Caliza de Aurán puede ser equivalente a la Caliza de Montcorbissun, de la serie de Montpius-Montcorbissun, ya que parecen tener la misma edad, aproximadamente. A partir de este dato puede pensarse que las series de Barradós y de Entecada también son equivalentes, lo cual plantea algunos problemas, pues en la sucesión de Montpius-Montcorbissun, entre la Serie de Entecada y la Caliza de Montcorbissun, se encuentran las Areniscas de Auba, que desaparecen lateralmente hacia el norte y el oeste, y no se observan en la sucesión de Sa Mont. Por otra parte, las alternancias de Sa Cal, que en el flanco sur del Sinclinorio del Valle de Arán aparecen por encima de la Caliza de Montcorbissun, en el flanco norte de esta estructura, no afloran, y por encima de esta Caliza únicamente se reconocen lutitas verdosas y areniscas comparables a las alternancias de Riu Nere.

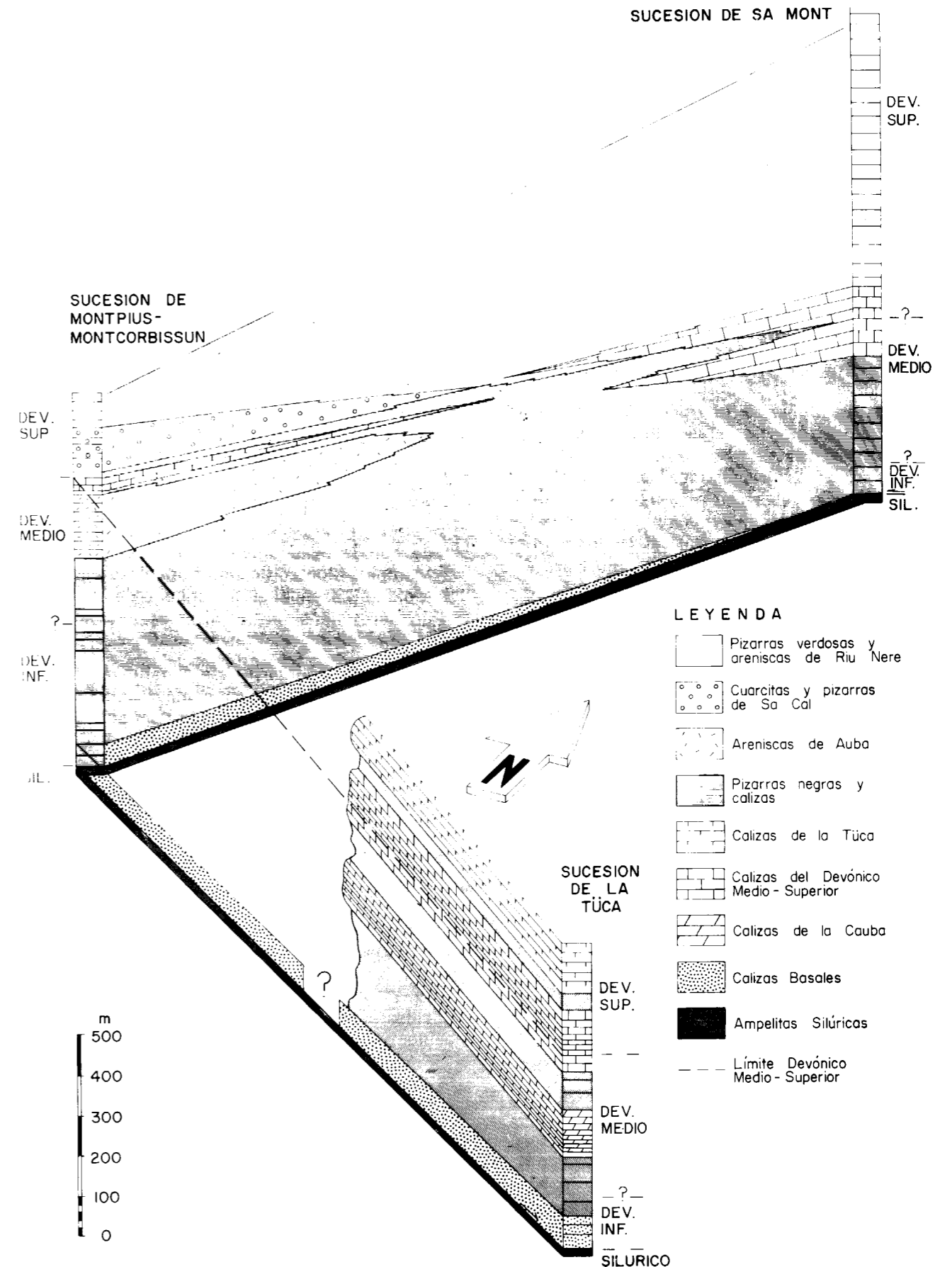


Figura 26.—Panel de correlación en el que se muestran las unidades litoestratigráficas de las sucesiones devónicas del Sinclinorio del Valle de Arán.

e) *Comparación entre las sucesiones devónicas del Valle de Arán y otras áreas de la Zona Axial pirenaica*

Existen dos sucesiones estratigráficas situadas al oeste del Sinclinorio del Valle de Arán, que pueden ser comparadas con las aquí estudiadas. Estas son: la de Agudes-Cap de Pales, descrita y datada por KRYLATOV y STOPPEL (1969), y la de Sia, definida por MIROUSE (1966) y posteriormente datada por KRYLATOV y STOPPEL (1971).

Desde el punto de vista litoestratigráfico, los niveles más altos de la Serie de Sia (DT1-DT5) y la parte alta de la Serie Agudes-Cap de Pales (E2-E6) pueden considerarse equivalentes a las pizarras y areniscas de Riu Nere. En lo referente a la edad, estos tramos de las series Sia y Agudes-Cap de Pales son más modernos que la Caliza de Montcorbissun, y posiblemente que las cuarcitas y pizarras de Sa Cal, las cuales afloran por debajo de las alternancias de Riu Nere.

La parte baja de la Serie Agudes-Cap de Pales (E1) y la parte inferior de la Serie Sia tienen una litología similar a las cuarcitas y pizarras de Sa Cal. Desde un punto de vista cronoestratigráfico la muestra más antigua de las recogidas en los niveles E1, de KRILATOV y STOPPEL (1969), corresponde a la parte inferior de la Biozona *P. asymmetricus* inferior, lo cual concuerda con la edad establecida en el Valle de Arán para el techo de la Caliza de Montcorbissun, que se sitúa en la base de las cuarcitas de Sa Cal (fig. 23).

Por otra parte, al este del área estudiada, concretamente en la zona que circunda el Granito de Marimanya, y en el sector del Pla de Beret (fig. 7), se puede reconocer otra sucesión estratigráfica comparable a las de Sa Mont y Montpius-Montcorbissun descritas en este trabajo. Esta sucesión estratigráfica fue descrita y datada con conodontos por LOSANTOS et al. (1986) y PALAU y SANZ (1989). De forma sintética, estos dos últimos autores reconocen los siguientes tramos:

— *Unidad de Moreda-Salau.*—En la parte más baja de esta unidad se reconocen unas calizas y lutitas, los tramos más bajos fueron datados como Silúrico Superior y los más altos como Devónico Inferior. Por encima aparece una caliza masiva que es la Caliza de Campaus, la cual fue datada dando una edad com-

prendida entre el Praguense o Siegeniense y Emsiense. Esta caliza puede ser equivalente a la Caliza Basal.

- *Unidad de Beret.*—Por encima de las Calizas de Campaus fueron descritas unas calizas y pizarras que LOSANTOS et al. (1986) denominaron Serie de la Perosa, la edad que estos autores obtuvieron para estos niveles es coherente con la atribuida en este trabajo a las Series de Entecada y de Barradós. Posteriormente, PALAU y SANZ (1989) denominaron Unidad de Beret a una serie calcáreo-lutítica, que incluye a la Serie de la Perosa y que, a techo, tiene un nivel de calizas (Calizas de Bandolers), en las que encontraron diversos restos fósiles, entre ellos aparecieron diversos ejemplares de conodontos. Esta microfauna sitúa a este nivel en el Givetense Superior y el Frasnense Inferior, lo cual coincide con la edad obtenida en la sucesión de Montpius-Montcorbissun para la Caliza de Montcorbissun. Todo el conjunto de la Unidad de Beret tiene una edad comprendida entre el Emsiense y el Frasnense Basal.
- *Unidad de Montgarri.*—Se constituye por areniscas, lutitas y calizas, comparables a las alternancias siliciclásticas de Sa Cal y de Riu Nere. La edad obtenida por PALAU y SANZ (1989), para los tramos más bajos de esta Unidad, es de Frasnense.
- *Unidad de Can Cabau.*—Corresponde a la unidad más alta en la serie descrita y datada por PALAU y SANZ (1989); a rasgos generales se constituye por pizarras azuladas y areniscas pardas y verdosas. Los conodontos encontrados en un nivel de calizas que se intercalan en la parte superior de esta Unidad permiten atribuir estos materiales al Fameniense Inferior. Rocas equivalentes a esta unidad no han sido reconocidas en el área estudiada.

2.3.2. La sucesión devónica del sector de la Alta Ribagorça

En este sector se encuentra una sucesión estratigráfica que fue descrita por MEY (1967 y 1968) y que caracteriza el área Baliera, la cual forma parte del área de la subfacies Sierra Negra de MEY (1967, 1968) y ZWART (1979). A grandes rasgos, esta serie está constituida por una mitad

inferior calcárea y una parte superior lutítica. De techo a muro, MEY (1967) distinguió las siguientes Formaciones:

Fm. Civis - Fm. Vilaller o Pizarras de Cerler
 Fm. Mañanet
 Fm. Fonchanina
 Fm. Basibé
 Fm. Gelada } Fm. Rueda
 Fm. Aneto }

En el área estudiada, en la parte basal de esta sucesión, es difícil distinguir las Fms. Gelada y Aneto, por lo que se considera una única unidad, Fm. Rueda. La parte superior de la serie (Fm. Vilaller), inicialmente, fue atribuida al Carbonífero, probablemente debido a la ausencia de datos relativos a la edad. A esta confusión es posible que también haya contribuido la semejanza que existe entre la Caliza de Mañanet y la Caliza «Griotte», esta última bien conocida y datada como Devónico Superior en áreas del Pirineo oriental. Sin embargo, recientemente se ha podido comprobar que la Fm. Mañanet es prácticamente toda ella anterior al Devónico Medio (GARCIA LOPEZ et al., 1990 a). La parte alta de esta sucesión no es bien conocida, por lo que no está claro cuál es la edad de los materiales más modernos que se encuentran en continuidad sobre la Formación Vilaller; no se descarta la posibilidad de que lleguen al Carbonífero. La columna estratigráfica, de forma esquematizada, se encuentra representada en la figura 27.

— Formación Rueda

Aparece inmediatamente por encima de las lutitas negras y calizas con ortocerátidos del Silúrico. Son unos 100 metros de alternancias decimétricas o métricas de calizas con chert y lutitas, con alguna intercalación arenosa. Es frecuente encontrar restos fósiles tales como crinoideos, corales, etc.

En algunas zonas es posible distinguir las dos partes de la Fm. Rueda (Aneto y Gelada). La inferior (Aneto) se compone de lutitas negras finas, entre las que se intercalan capas de caliza de varios centímetros a un metro de espesor. Ocasionalmente, pueden encontrarse finos niveles arenosos intercalados. La parte superior (Gelada), generalmente, se encuentra separada de

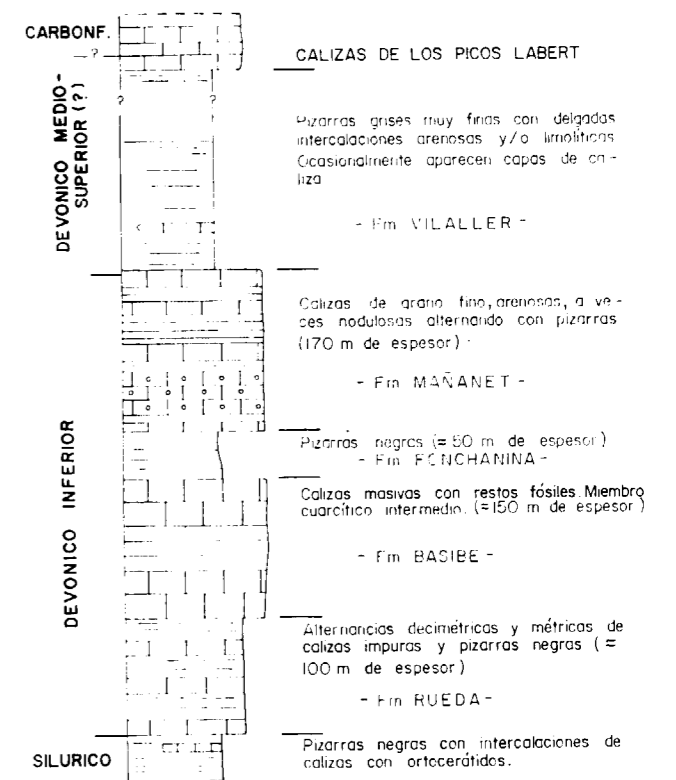


Figura 27.—Columna estratigráfica sintetizada del Devónico del sector de la Alta Ribagorça.

la anterior por una capa de calizas de unos 10 metros de espesor. Se caracteriza por el mayor contenido en materiales siliciclásticos, siendo areniscas y lutitas verdosas o negras con capas de caliza intercaladas. HABERMEHL (1970) ha citado la presencia de pistas y «burrows» entre los materiales de esta formación. Este mismo autor ha interpretado que la sedimentación de esta formación tuvo lugar en un medio marino poco profundo.

En lo que se refiere a la edad de la Fm. Rueda, es característica la ausencia de fósiles con valor cronoestratigráfico en esta zona. Sin embargo, en áreas próximas situadas más al oeste, en la cabecera del río Baliera, VALENZUELA (1989) encontró conodontos del Lochkoviense Inferior. Más al este del área estudiada, BOERSMA (1973) atribuyó estos materiales al Gedinniense a partir del estudio de conodontos.

— Formación Basibé (MEY, 1967)

Aparece por encima de la Formación Rueda, y es un nivel guía muy característico, siendo correlacionable litológicamente con la caliza «Dalle» (JACQUOT, 1890, y BRESSON, 1903) o la Caliza Basal del Sinclinatorio del Valle de Arán.

Está representada por un grueso nivel calcáreo de unos 150 metros de espesor en total, en el que pueden diferenciarse tres miembros. Estos miembros, inferior, medio y superior, han sido denominados por HABERMEHL (1970) Ponferrat, San Silvestre y Llaviero, respectivamente. El Miembro Ponferrat está caracterizado por dolomías y calizas blanquecinas; el Miembro San Silvestre es cuarcítico, y el superior, o de Llaviero, se constituye por calizas gris oscuro. Las calizas son bastante masivas y con alto contenido en organismos fósiles, tales como crinoideos, corales y braquiópodos. El estudio sedimentológico y diagenético de estas calizas fue realizado por HABERMEHL (1970), quien las interpretó como depósitos de un medio marino abierto poco profundo.

Una de las áreas donde mejor se puede observar la Caliza Basibé es al sur del collado Salines (mapa geológico núm. 2). En este sector existe una zona donde se observan numerosos pliegues de diferentes generaciones, dando lugar a una complicada estructura. Gracias a la magnífica calidad de los afloramientos existentes de Caliza Basibé, los tres miembros han podido ser cartografiados en esta zona.

En áreas situadas más al oeste, concretamente en las cercanías de los ríos Baliera e Isábena, VALENZUELA (1989) dató el Miembro Llaviero de esta Formación con conodontos, y la edad obtenida es de Siegeniense Superior - Emsiense Inferior. Asimismo, al sureste del área estudiada, la caliza de Basibé fue datada también con conodontos por BOERSMA (1973), siendo la edad la misma que obtuvo VALENZUELA (op. cit.).

— Formación Fonchanina (MEY, 1967)

Esta Formación está constituida por unos 50 metros de lutitas con tonos oscuros, en los que ocasionalmente puede aparecer intercalada alguna capa de caliza que no supera la decena de metros de espesor. Al sur del área estudiada se

encuentra la localidad tipo, donde MEY (op. cit.) definió esta Formación.

A partir del contenido en conodontos, BOERSMA (1973) obtuvo para estas lutitas una edad Emsiense Superior - Eifeliense Inferior en la localidad de Castells, al SE del área estudiada. Sin embargo, datos de edad obtenidos más recientemente, sitúan el límite superior de esta Formación en el Emsiense como máximo (GARCIA-LOPEZ et al., 1990 a). Por tanto, sería necesario revisar las faunas obtenidas en estos materiales.

— Formación Mañanet (MEY, 1967)

Está constituida por calizas en bancos de escala métrica y decimétrica, que alternan con capas decimétricas de lutitas grises. Las calizas en general tienen un aspecto noduloso, hecho por el cual probablemente MEY (1967, 1968) las atribuyó al Devónico Superior. Son calizas de tonos variados, rojizas, verdosas y gris claro; de aspecto marmóreo y con intercalaciones de chert. Es frecuente encontrar abundante fauna de ostrácodos, tentaculítidos, crinoideos, algunos restos de foraminíferos y trilobites.

Esta Formación ha sido datada recientemente por GARCIA-LOPEZ et al. (1990 a). Próximos a la base se han reconocido conodontos de las especies:

Pandorinellina steinhornensis
steinhornensis
Pandorinellina steinhornensis miae →
P. steinhornensis steinhornensis
Pandorinellina? steinhornensis subsp. A

Esta asociación de especies de conodontos puede corresponder a la Biozona de *Polygnathus gronbergi*. En los mismos niveles de la parte basal de la Fm. Mañanet, también se ha recogido un ejemplar de braquiópodo perteneciente a la especie *Uncinulus pila* (GARCIA-ALCALDE*, com. pers.). Esta asociación faunística permite atribuir la base de esta Formación al Emsiense. En la parte alta de las calizas de Mañanet se han reconocido conodontos de las especies:

Polygnathus cooperi cooperi
Polygnathus costatus ssp.

La presencia de estos ejemplares permite atribuir el techo de esta Formación a la parte alta

* Dpto. Geología (Área Paleontología). Universidad de Oviedo.

del Emsiense y parte baja del Eifeliense. Estos datos cronoestratigráficos están de acuerdo, en parte, con los obtenidos por BUCHROITHNER (1978), ya que para los mismos materiales, en áreas próximas, este autor obtiene una edad Siegeniense - Emsiense, basándose en conodontos.

— Formación Vilaller

Esta Formación está constituida por lutitas grises, entre las que ocasionalmente se intercalan capas de calizas de escala decimétrica o más raramente de más de un metro de espesor. Entre las lutitas pueden reconocerse niveles arenosos y/o limolíticos de escala centimétrica o milimétrica.

La Formación Vilaller es equivalente a la Fm. Civi situada más al este y a las Pizarras de Cerler, definidas al oeste del área estudiada, que fueron consideradas carboníferas (ARCHE, 1971; MEY, 1967 y 1968). Posteriormente, RIOS (1977) advirtió la posibilidad de que su edad podría ser devónica. Para este autor, el límite Devónico - Carbonífero se situaría en unos niveles calcáreos que afloran por encima de estas lutitas, en la zona de Cerler, concretamente este límite estaría en las Calizas del pico Labert.

Las calizas de la Fm. Mañanet hacia el techo son cada vez menos abundantes, apareciendo mayor cantidad de tramos pelíticos que representan el paso gradual a la sucesión lutítica que constituye la Fm. Vilaller. Afloramientos característicos de esta Formación se encuentran al sur del área estudiada, más concretamente en la carretera que une Castanesa y Noales, y en los alrededores de Vilaller (mapa geológico núm. 2).

En lo referente a su edad, en su base se sitúa el límite Devónico Inferior-Medio, tal y como resulta del estudio de conodontos realizado por GARCIA-LOPEZ et al. (1990 a). Para BUCHROITHNER (1978), el techo pertenece ya al Carbonífero. Por tanto, teniendo en cuenta estos datos cronoestratigráficos, la Formación Vilaller se sitúa entre el Emsiense y el Carbonífero Inferior.

2.4. ESTRATIGRAFIA DE LA SUCESION CARBONIFERA

Las rocas de edad carbonífera afloran únicamente

te al sur del Valle de Arán, concretamente en el núcleo del Sinclinatorio de Plan d'Estan, que constituye una franja alargada de dirección este-oeste, y que se extiende desde el Hospital de Benasque hasta la vertiente norte del pico Montartó. Este conjunto de rocas ya fue atribuido al Carbonífero por DUROCHER (1844) y CARALP (1888), y posteriormente fue estudiado por WATERLOT (1969). Aunque en mucha menor proporción, posiblemente también afloran rocas del Devónico Superior. En el límite septentrional del Sinclinatorio de Plan d'Estan se sitúa el Anticlinal Central (fig. 7); ambas estructuras están separadas por una serie de fracturas. En la parte sur esta franja de rocas devónico (?) - carboníferas aparece cortada por la Granodiorita de la Maladeta (mapa geológico núm. 1 y fig. 28).

Los materiales carboníferos son esencialmente siliciclásticos y vienen siendo habitualmente conocidos en el Pirineo bajo la denominación de «serie en facies Culm» por diversos autores, haciendo alusión al tipo de litología y a su edad. En la base afloran unas calizas tableadas, blancas y generalmente muy metamorfizadas. Entre ellas se intercala una capa silíceo, bastante continua, que podría corresponder a un nivel de liditas característico en numerosos puntos del Pirineo. Bajo este nivel se sitúa el límite Devónico - Carbonífero, ya que las liditas tienen una edad Tournaisiense (BOUQUET y STOPPEL, 1975). En la zona estudiada, este nivel se encuentra muy afectado por el metamorfismo, por lo que no es posible asegurar que se trate de dicho tramo de liditas. Por encima de las calizas se sitúa una serie detrítica constituida por alternancias decimétricas de areniscas feldespáticas y lutitas negras, entre las que, ocasionalmente, se intercalan niveles de conglomerados (fig. 29). A pesar del carácter siliciclástico de esta serie, a menudo aparecen capas de calizas bastante continuas con un espesor inferior a los 2 ó 3 metros. Frecuentemente, los niveles conglomeráticos están constituidos por brechas envueltas en una matriz microconglomerática (fig. 30). Por su distribución caótica y por el contexto sedimentario sugieren un depósito de tipo «debris flow», ligado a zonas proximales de abanicos submarinos o a zonas de pie de talud. Los niveles de calizas pueden representar sismoturbiditas (sensu MUTTI et al., 1984), depositadas en un medio turbidítico y procedentes de la destrucción de la

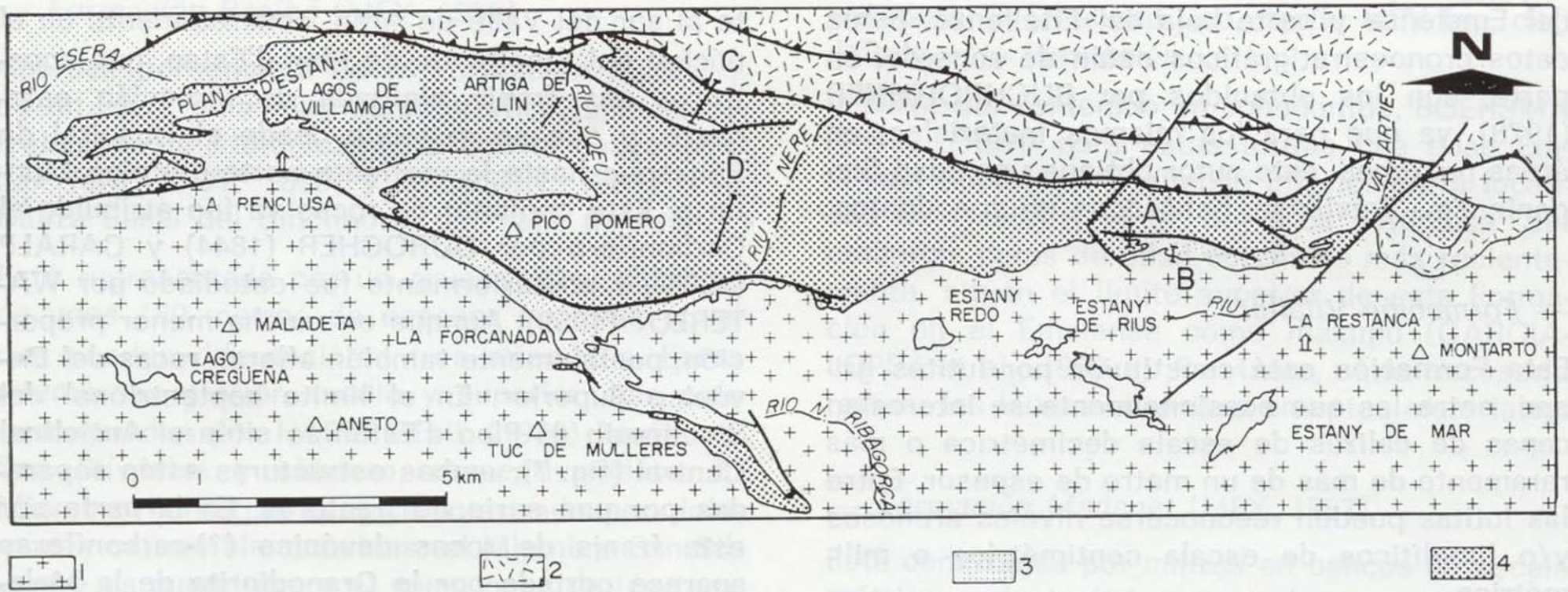


Figura 28.—Mapa geológico del Sinclinorio de Plan d'Estan. 1) Granodiorita de la Maladeta. 2) Rocas paleozoicas indiferenciadas. 3) Calizas del Devónico Superior - Carbonífero Inferior. 4) Rocas siliciclásticas del Carbonífero (facies «Culm»). A y B) Situación de los cortes geológicos a) y b) respectivamente, de la figura 101. C y D) Situación de los cortes geológicos b) y a) de la figura 100, respectivamente.



Figura 29.—Alternancias de areniscas y pizarras del Carbonífero. Se observan estratificaciones paralelas y «ripple marks». Zona del Cap de Toro.

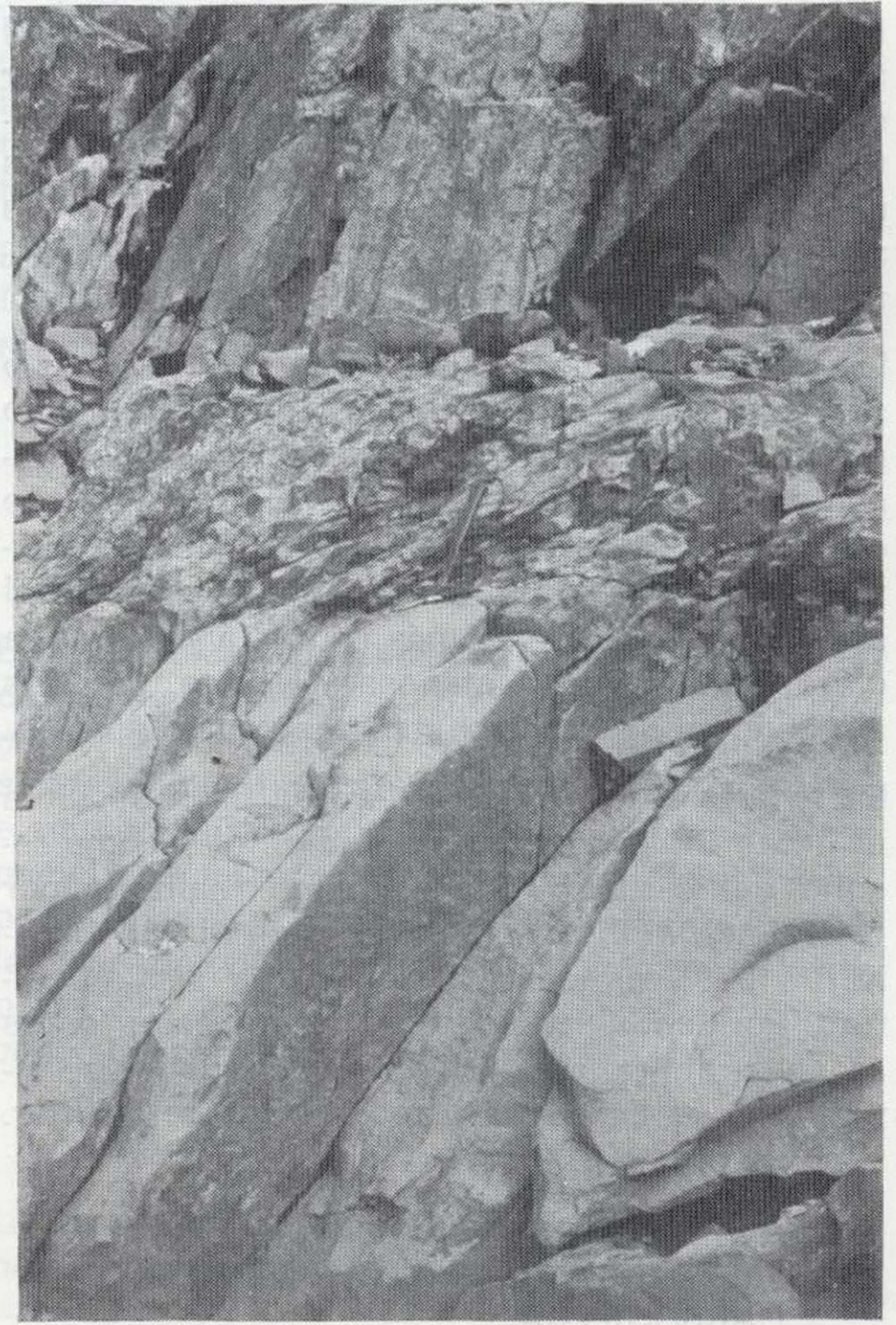


Figura 30.—Capas gruesas de areniscas con niveles de brechas intercaladas de edad carbonífera. Zona del Cap de Toro.

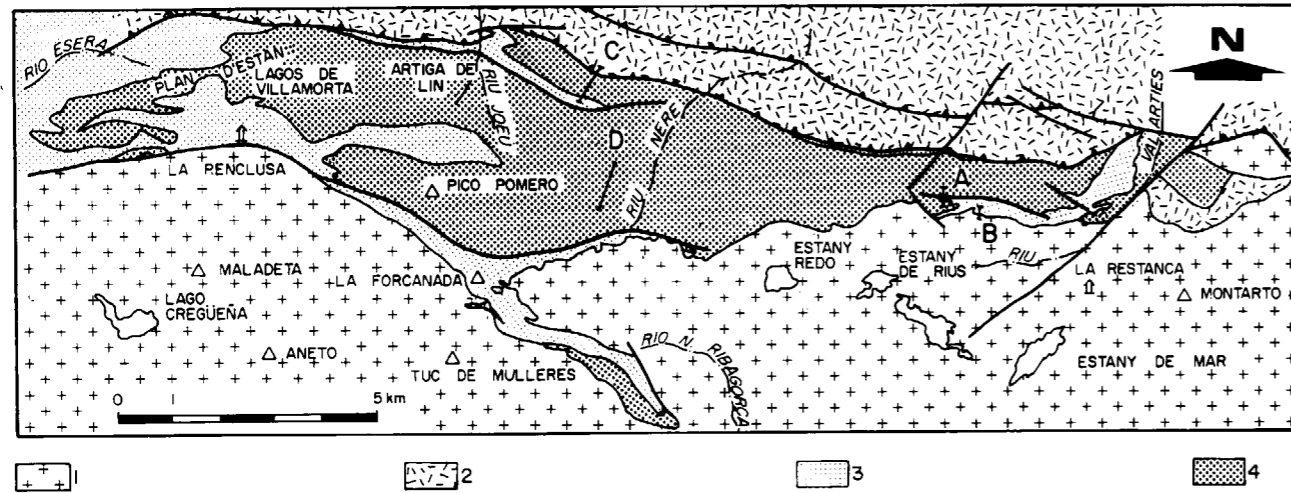


Figura 28.—Mapa geológico del Sinclinorio de Plan d'Estan. 1) Granodiorita de la Maladeta. 2) Rocas paleozoicas indiferenciadas. 3) Calizas del Devónico Superior - Carbonífero Inferior. 4) Rocas siliciclásticas del Carbonífero (facies «Culm»). A y B) Situación de los cortes geológicos a) y b) respectivamente, de la figura 101. C y D) Situación de los cortes geológicos b) y a) de la figura 100, respectivamente.

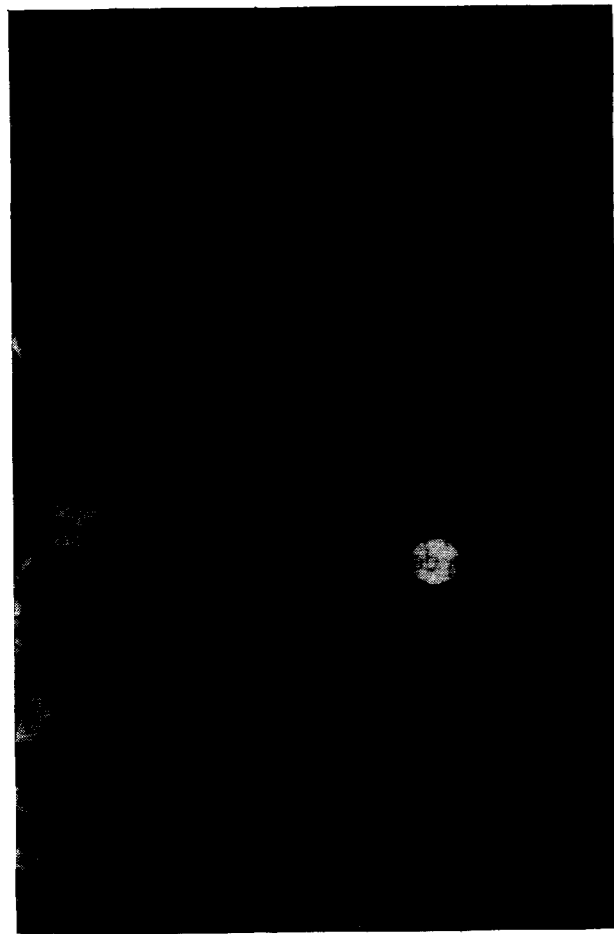


Figura 29.—Alternancias de areniscas y pizarras del Carbonífero. Se observan estratificaciones paralelas y «ripple marks». Zona del Cap de Toro.

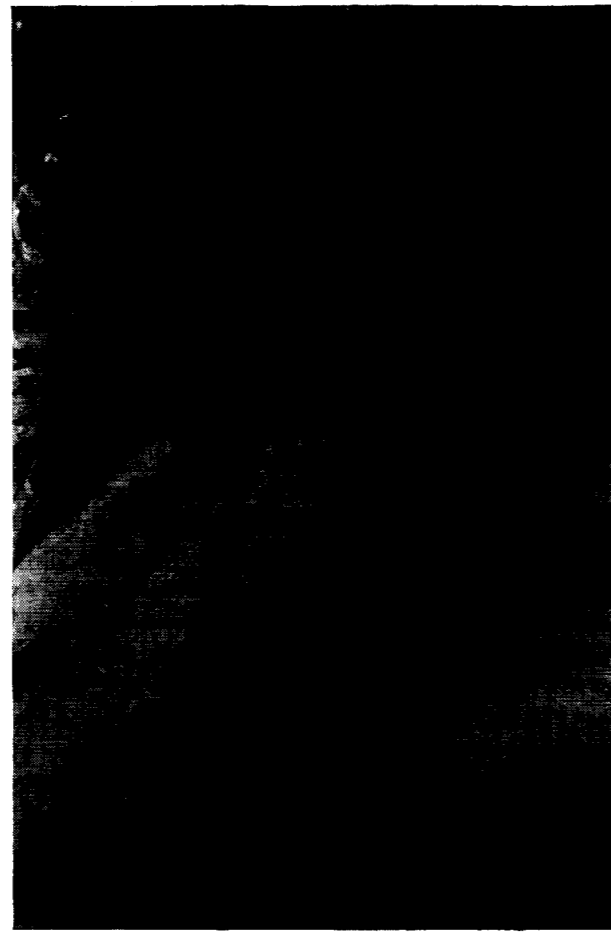


Figura 30.—Capas gruesas de areniscas con niveles de brechas intercaladas de edad carbonífera. Zona del Cap de Toro.

plataforma carbonática. Sedimentos de este tipo han sido descritos en materiales terciarios del Pirineo (LABAUME et al., 1985, entre otros).

WATERLOT (1969) llevó a cabo el estudio estratigráfico del Sinclinorio de Plan d'Estan a partir de varias secciones estratigráficas, cuya descripción se representa en la figura 31. La primera de ellas es la de Plan d'Estan, y se sitúa en la parte más occidental. Un nivel de esta sucesión contiene fauna de goniatítidos de edad Namuriense. La segunda columna es la realizada entre la Renclusa y los lagos de Villamuerta, donde este autor ha reconocido goniatítidos Namurienses en su parte baja y tallos vegetales (*Cordaites* sp.) en la parte alta. Esta última determinación podría incluir estos materiales en el Westfaliense. En la zona de pico Pomero-Aigualluts, WATERLOT (1969) realizó el estudio de una tercera sucesión estratigráfica de unos 400 metros de espesor. Esta columna se caracteriza por presentar una parte inferior en la que aparecen niveles de caliza y otra superior donde se reconocen dos niveles de conglomerados. La última sucesión estratigráfica realizada por WATERLOT (1969) describe los materiales carboníferos de la zona de Riu Nere, donde reconoce un máximo de 700 metros de areniscas feldespáticas y lutitas, con abundantes restos de plantas. También aparecen intercalaciones conglomeráticas y calcáreas dentro de la misma serie. En la parte baja de la columna de Riu Nere, WATERLOT (1969) pudo observar paleocorrientes dirigidas desde el oeste hacia el este y del norte hacia el sur. Por otro lado, y según este mismo autor, en la parte alta de la serie, las paleocorrientes tienen un sentido de oeste a este y hacia el centro del Sinclinorio. De forma resumida, WATERLOT señala que en la mitad meridional del Sinclinorio los aportes provenían del sur y en la mitad septentrional del norte.

En lo referente a la edad, las calizas que afloran en la base de la serie siliciclástica fueron atribuidas al Carbonífero Inferior (Dinantense) mediante la datación con goniatítidos, por DALLONI (1913), en otras áreas del Pirineo (sur de Puigcerdá, en la sierra del Cadí). En la zona que es objeto de estudio, fueron asignadas al Fameniense en las proximidades de la Renclusa (Valle de Benasque) por RIOS (1977). Sin embargo, la parte superior de este nivel calcáreo llega al Carbonífero, pues fueron recogidos en él conodon-

tos de edad Tournaisiense y Viseense [ADRIE-CHEN BOOGAERT, en WENNEKERS (1968); BOUQUET y STOPPEL, 1975)]. En lo referente a la sucesión siliciclástica, WATERLOT (1969) la atribuyó al Namuriense, basándose en goniatítidos pertenecientes a la especie *Proshumardites karpinskyi* RAUSER-TSCHERNOUSSOVA y al Westfaliense por restos vegetales. DALLONI (1910, 1913) y ARCHE (1971) también consideran que estos materiales llegan hasta el Westfaliense, basándose en datos paleobotánicos pertenecientes a la parte alta de esta sucesión.

2.5. ESTRATIGRAFIA DE LAS ROCAS PERMO-TRIASICAS

Este trabajo trata principalmente de la estratigrafía y estructura de las rocas paleozoicas; sin embargo, en diversos sectores del área estudiada afloran rocas posthercínicas. Estas zonas se localizan principalmente al sur del área estudiada, en el sector de la Alta Ribagorça, donde se reconocen pequeños afloramientos de rocas permo-triásicas involucradas en la deformación alpina, conjuntamente con las rocas paleozoicas. Asimismo, el límite meridional de la Zona Axial pirenaica de esta transversal viene definido por rocas, también posthercínicas.

La sucesión permo-triásica fue estudiada principalmente por autores de la Escuela holandesa (MEY, 1967, 1968; MEY et al., 1968; ZWART, 1979). En este sector del Pirineo, estos autores han definido tres unidades que, de base a techo, son: Fm. Peranera, «Bunter» y Fm. Pont de Suert.

Las rocas de la Formación Peranera aparecen constituidas fundamentalmente por alternancias de lutitas rojizas, areniscas, brechas y algunas capas de calizas nodulosas. En este sector de la Zona Axial pirenaica afloran únicamente en el límite meridional, y constituyen un nivel estratigráfico muy delgado, de algunas decenas de metros, encontrándose bajo las rocas mesozoicas discordantes. En áreas próximas el espesor de esta Formación llega a ser de unos 700 metros. La edad de estas rocas es, posiblemente, pérmica (MEY et al., 1968).

En otro sector del área estudiada, concretamente en la zona de Aiguamoix, al oeste del Anticlinal Central, existe un pequeño afloramiento de luti-

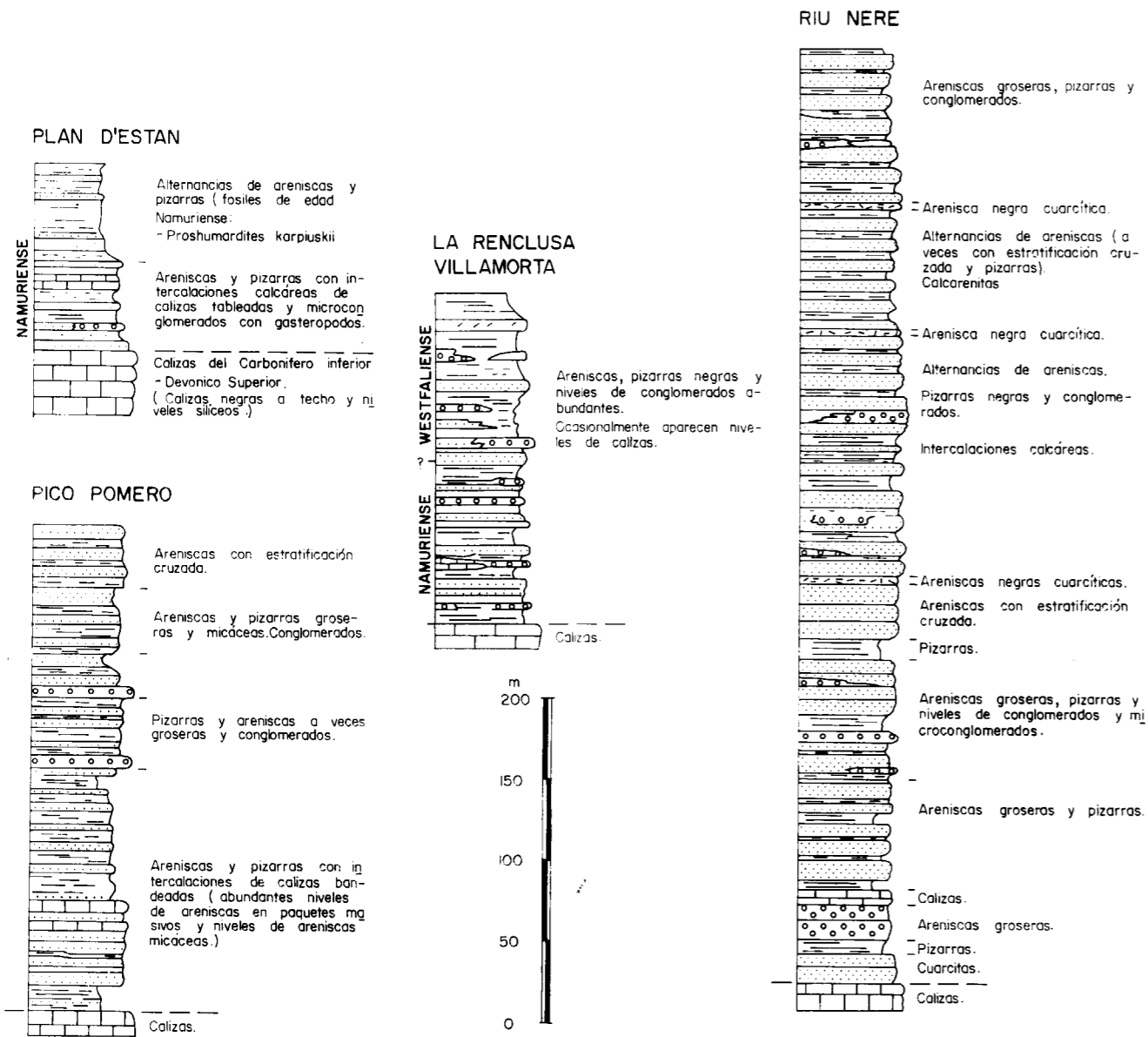


Figura 31.—Columnas estratigráficas del Carbonífero del Sinclinario de Plan d'Estan, según WATERLOT (1969). Situación de localidades en figura 28.

tas rojizas involucradas, conjuntamente con rocas prehercínicas, en la deformación del Cabalgamiento de Gavarnie (mapa geológico núm. 1). Estas lutitas rojizas están muy deformadas y también podrían corresponder a rocas pérmicas.

Por encima de la Fm. Peranera, en la zona estudiada, afloran unos 200 metros de alternancias de lutitas rojas, conglomerados, areniscas cuar-

cíticas y dolomías que constituyen otra unidad denominada «Bunter» (MEY et al., 1968). Este nombre hace alusión a una sucesión estratigráfica con facies muy característica, que es la facies «Buntsandstein», la cual es muy uniforme en todo el continente europeo. Estas rocas afloran bien en la parte sur de la zona estudiada, por encima de la Fm. Peranera y en los afloramientos de rocas permotriásicas situados al este

de Fonchanina (mapa geológico núm. 2). Según MEY et al. (1968), estas rocas, que son discordantes, forman un ángulo entre 10° y 30° con la Formación Peranera infrayacente.

Sobre la serie en facies «Buntsandstein» aflora la Fm. Pont de Suert, constituida por dolomías y calizas micríticas oscuras (facies «Muschelkalk») y abundantes yesos (facies «Keuper»). Hacia la parte alta de esta formación suelen aflorar cuerpos de ofitas. Estas rocas se sitúan al sur del área estudiada, fuera ya de ella. Sin embargo, en la zona de la Alta Ribagorça, en las proximidades del límite sur de la Granodiorita de la Maladeta, se reconocen pequeños afloramientos de estas rocas, involucradas en la deformación alpina, conjuntamente con las rocas paleozoicas. En estos sectores, las rocas triásicas aparecen fuertemente tectonizadas y escapolitizadas.

REFERENCIAS

ALONSO, J. L. (1979): *Deformaciones sucesivas en el área comprendida entre Liat y el Puerto de Orlá. Control estructural de los depósitos de sulfuros (Valle de Arán. Pirineos centrales)*. Tesis Licenciatura. Univ. de Oviedo, 26 pp.

ALPHEN, G. J. Van (1956): *Structural features round Las Bordas, Valle de Arán, Central Pyrenees*. Leidse Geol. Meded., 21, pp. 485-489.

ALVAREZ-PEREZ, A. (1980): *La Tectónica de fractura en los yacimientos del área de Bossost (Vall D'Aran, Lérida)*. Bol. Soc. Esp. Mineralogía, 2, pp. 43-49.

ALVAREZ-PEREZ, A. (1981): *Nota geoquímica sobre «Mina Margalida», Vall D'Aran (Lérida)*. Soc. Esp. Mineralogía, vol. 2, pp. 221-225.

ARCHE, A. (1971): *Estudio estratigráfico de las cabeceras de los ríos Esera y Pique (Pirineos Centrales, España, Francia)*. Tesis doctoral. Univ. de Madrid, 197 pp.

BARROIS, Ch. (1887): *Sur les faunes siluriennes et dévoniennes de la Haute-Garonne*. Ass. Fr. Ar. Sci., Toulouse, pp. 507-517.

BARROIS, Ch. (1901): *Note sur les Graptolites de la Catalogne et leurs relations avec les étages graptolitiques de France*. Bull. Soc. géol. France, Paris (4), 1, pp. 637-646.

BARTHOLOME, P. (1953): *Sur la structure du massif granitique de Bossost - Vall d'Aran d'Espagne*. Ann. Soc. Géol. de Belgique, Liège, LXXVI, pp. 317-328.

BASTIDA, F. (1981): *La esquistosidad primaria: una síntesis*

sobre sus características y desarrollo. Trab. Geol., Oviedo, 11, pp. 35-54.

BERTRAND, L. (1907): *Contribution à l'histoire stratigraphique et tectonique des Pyrénées orientales et centrales*. Bull. Serv. Carte géol. France, Paris, XVII, 118, pp. 365-547.

BERTRAND, L. (1910): *Carte géologique à 1:80.000 «Bagnères de Luchon» (252)*. BRGM. Service Géologique National, 1.ª edición, France.

BODIN, J. (1988): *Le Dévonien inférieur et moyen des Pyrénées ariégeoises et centrales*. Documents du BRGM, Orléans, núm. 153, 255 pp.

BOERSMA, K. Th. (1973): *Devonian and Lower Carboniferous conodont biostratigraphy, Spanish Central Pyrenees*. Leidse Geol. Meded., 49, pp. 303-377.

BOISSEVAIN (1934): En MEY, 1968.

BOISSONNAS, J. (1972): *Carte géologique à 1:50.000 «Pic de Maubermé» (XIX-48)*. BRGM. Service Géologique National, Orléans, France.

BOSCHMA, D. (1963): *Successive Hercynian structures in some areas of the Central Pyrenees*. Leidse Geol. Meded., 28, pp. 103-176.

BOUQUET, Ch.; BOURROUILH, R.; VACHE, E. & GUERANGE, B. (1987): *Le Cambro-Ordovicien de l'Hospice de France, Haute Chaîne, Pyrénées centrales. Sedimentologie et premières correlations*. In: IGCP. Project núm. 5, Newsletter, 7, pp. 131-133.

BOUQUET, Ch. & STOPPEL, D. (1975): *Contribution à l'étude du Paléozoïque des Pyrénées centrales (Hautes vallées de la Garonne et Aure)*. Bull. du BRGH, Orléans (2), 1, 1, pp. 7-61.

BRESSON, A. (1903): *Etudes sur les formations anciennes des Hautes et Basses Pyrénées (Haute Chaîne)*. Bull. Serv. Carte géol. France, Paris, XIV, 93, 278 pp.

BUCHROITHNER, M. F. (1978): *Zur Conodontenstratigraphie vorwiegend klastischer Folgen im Devon der Ost- und Zentralpyrenäen*. Mitt. österr. geol. Ges., Wien, 69, pp. 247-266.

CALEMBERT, L. (1951): *Sur la géologie des environs de Bossost (Hautes Pyrénées d'Espagne)*. Ann. Soc. Géol. de Belgique, Liège, LXXV, pp. 123-130.

CAMARA, P. & KLIMOWITZ, J. (1985): *Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica (Cuencas de Jaca-Tremp)*. Estudios Geol., Madrid, 41, pp. 391-404.

CARALP, J. (1888): *Etudes géologiques sur les hautes massifs des Pyrénées centrales (Ariège, Haute Garonne, Vallée d'Aran)*. Thèse, Toulouse, 512 pp.

CARDELLACH, E. (1977): *Estudio microscópico de las mineralizaciones de Pb-Zn de Liat, Bagergue y Montoliu (Vall d'Aran, Lérida)*. Acta Geol. Hispánica, 12 (4-6), pp. 120-122.

CARDELLACH, E. & ALVAREZ-PEREZ, A. (1979): *Interpreta-*

ción genética de las mineralizaciones de Pb-Zn del Ordovícico Superior de La Vall d'Aran (Lérida). Acta Geol. Hisp., Barcelona, Homenatge a Lluís Solé i Sabaris, 14, pp. 117-120.

CARDELLACH, E.; PHILLIPS, R. & AYORA, C. (1982): *Metamorphosed stratiform sulphides of the Liat area, Central Pyrenees, Spain*. Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. B: Appl. earth sci.), 91, pp. B90-94.

CAREZ, L. (1903-1909): *La géologie des Pyrénées françaises*. Mém. Carte géol. France, Paris, 6, 3892 pp., Paris.

CARRERAS, J. (1975): *Las deformaciones tardi-hercínicas en el litoral septentrional de la península de Cabo Creus (provincia de Gerona, España): la génesis de las bandas miloníticas*. Acta Geol. Hispánica, Barcelona, X, 3, pp. 109-115.

CARRERAS, J.; JULIVERT, M. & SANTANACH, P. (1980): *Hercynian mylonite belts in the eastern Pyrenees: an example of shear zones associated with late folding*. J. Struct. Geol., Oxford, 2, 1/2, pp. 5-9.

CASAS, J. (1984): *Estudi de la deformació en els gneiss del Massi del Canigó*. Tesis Doctoral, Univ. Barcelona, 284 pp.

CASAS, J. M.; DOMINGO, F.; POBLET, J. & SOLER, A. (1989): *On the role of the Hercynian and Alpine thrusts in the Upper Paleozoic rocks of the Central and Eastern Pyrenees*. Geodinamica Acta, Paris, 3, 2, pp. 135-147.

CAVET, P. (1957): *Le Paléozoïque de la zone axiale des Pyrénées orientales françaises entre le Roussillon et l'Andorre (étude stratigraphique et paléontologique)*. Bull. Serv. Carte géol. France, Paris, LX, 254, pp. 303-518.

CHARLET, J. M. (1971): *Utilisation de quelques données pétrochimiques dans l'étude des granites des Pyrénées centrales espagnoles*. C. R. somm. Soc. géol. Fr., Paris, 25, pp. 174-175.

CHARLET, J. M. (1979): *Le massif granitique de la Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles), synthèse des données géologiques*. Ann. Soc. géol. Belgique, Liège, 102, pp. 313-323.

CHARLET, J. M. (1982): *Les grands traits géologiques du massif de la Maladeta (Pyrénées centrales espagnoles)*. Pirineos, Jaca, 116, pp. 57-66.

CHOUKROUNE, P. & SEURET, M. (1973): *Tectonics of the Pyrenees, role of gravity and compression*. In: K. H. DE JONG and R. SCHOLTEN, Eds.: *Gravity and Tectonics*. Wiley, New York, pp. 141-156.

DALLONI, M. (1910): *Etude géologique des Pyrénées de l'Aragon*. Ann. Fac. Sc., Marseille, XIX, 444 pp.

DALLONI, M. (1913): *Stratigraphie et tectonique de la région des Nogueras (Pyrénées centrales)*. Bull. Soc. géol. France, Paris (4), XIII, pp. 243-263.

DALLONI, M. (1930): *Etude géologique des Pyrénées catalanes*. Ann. Fac. Sc., Marseille, XXVI, 373 pp.

DEGARDIN, J. M. (1977): *Contribution à l'étude géologi-*

que du Silurien de la région de Benasque (Province de Huesca, Espagne). Thèse 3ème Cycle, Univ. Sc. Techn. Lille, 355 pp.

DEGARDIN, J. M. (1978): *Etude stratigraphique et paléogéographique du Silurien de la région de Benasque (Pyrénées Centrales espagnoles)*. Ann. Soc. Géol. Nord, Lille, XCVIII, pp. 51-58.

DEGARDIN, J. M. & PARIS, F. (1978): *Présence de chitinozoaires dans les calcaires siluro-dévonien de la Sierra Negra (Pyrénées centrales espagnoles)*. Géobios, Lyon, 11, 5, pp. 769-777.

DERAMOND, J.; GRAHAM, R. M. HOSSACK, J. R.; BABY, P. & CROUZET, G. (1985): *Nouveau modèle de la Chaîne des Pyrénées*. C. R. Acad. Sc. Paris, 301, II, pp. 1213-1216.

DESTOMBES, J. P. (1952): *Stratigraphie des terrains primaires de la Haute-Garonne*. C. R. XIX Congr. géol. int. Alger, 2, pp. 107-129.

DESTOMBES, J. P. (1958): *Sur un mode tectonique particulier des formations ordoviciennes de la mine de Bentailou (Ariège)*. Bull. Soc. géol. France, Paris (6), 8, pp. 105-112.

DESTOMBES, J. P. & RAGUIN, E. (1953): *Les relations du granite et du Paléozoïque dans les Pyrénées luchonnaises (Haute-Garonne)*. C. R. somm. Soc. géol. Fr., Paris, 16, pp. 337-339.

DONNOT, M. & GUERANGE, B. (1969): *Coupe du Cambro-Ordovicien de L'Hospice de France au Port de Venasque (Luchon, Haute Garonne, Pyrénées centrales)*. Repport BRGM, Orleans, 69 SGL 080 GEO, 52 pp.

DURAND, J. (1935): *Remarques sur quelques formations de calcaires anciens dans les Pyrénées*. C. R. somm. Soc. géol. Fr., Paris, 14-15, pp. 222-223.

DURAND, J. & RAGUIN, E. (1943): *Sur la structure du massif du Maubermé, dans les Pyrénées ariégeoises*. Bull. Soc. géol. France, Paris (5), XIII, pp. 9-19.

DUROCHER, J. (1844): *Essai pour servir à la classification du terrain de transition des Pyrénées et observations diverses sur cette chaîne de montagnes*. Ann. mines, Paris (4), VI, pp. 15-112.

ECKHOUT, VAN DEN B. & ZWART, H. J. (1988): *Hercynian crustal scale extensional shear zone in the Pyrenees*. Geology, Boulder, 16, 135-138.

FERT, D. (1976): *Un aspect de la métallogénie du zinc et du plomb dans l'Ordovicien des Pyrénées centrales: le district de Sentien (Ariège, Haute-Garonne)*. Thèse 3ème Cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 135 pp.

FRANCKEN, R. B. (1954): *La géologie des environs de Bostost dans le Val d'Aran espagnol*. Pirineos, Jaca, 31-32, pp. 253-259.

GARCIA-LOPEZ, S. (1987): *Los Conodontos y su aplicación al estudio de las divisiones cronoestratigráficas mayores del Devónico asturleonés (España)*. Publ. esp., Bol. Geol. Min., Madrid, XCVII, 112 pp.

GARCIA-LOPEZ, S.; GARCIA-SANSEGUNDO, J., y ARBIZU, M. (1990a): *Datos estratigráficos y paleontológicos de la*

sucesión devónica del área del Río Balerie (Zona Axial, Pirineos centrales españoles). Geogaceta, Madrid, núm. 7, pp. 33-35.

GARCIA-LOPEZ, S.; GARCIA-SANSEGUNDO, J. & ARBIZU, M. (1990b): *Devonian of the Aran Valley Synclinalium Central Pyrenees, Spain: Stratigraphical and Paleontological data*. Acta Geol. Hispánica, Barcelona, 4, pp.

GARCIA-SANSEGUNDO, J. (en prensa): *Datos estratigráficos y estructurales del Devónico del Flanco Sur del Sinclinal del Valle de Arán (Pirineos Centrales)*. In: Llibre Homenatge a Faura i Sans. Servei Geològic de Catalunya, Barcelona.

GARCIA-SANSEGUNDO, J. & ALONSO, J. L. (1989): *Stratigraphy and structure of the southeastern Garona Dome*. Geodinamica Acta, Paris, 3, 2, pp. 127-134.

GARRIDO, A. (1973): *Estudio geológico y relación entre tectónica y sedimentación del Secundario y Terciario de la vertiente meridional pirenaica en su zona central (provincias de Huesca y Lérida)*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada, 395 pp.

GISBERT (1981): *Estudio geológico-petroológico del Estefaniense-Pérmico de la Sierra del Cadí (Pirineo de Lérida)*. *Diagénesis y sedimentología*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 313 pp.

GRAMONT, X. DE (1966): *Contrôle lithologique des mineralisations du Massif du Maubermé (Ariège et Val d'Aran)*. Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, 102, 2-3, pp. 453-456.

GUERIN, P. (1979): *Les mineralisations zincciferes d'Ordovicien de la region de Liat (Val d'Aran, prov. de Lérida, Espagne)*. Thèse 3ème Cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 203 pp.

GUIARD, G. (1970): *Le métamorphisme hercynien mésozonal et les gneiss ocellés du massif du Canigou (Pyrénées orientales)*. Mém. du BRGM, Orleans, 63, 353 pp.

HABERMEHL, M. A. (1970): *Depositional history and diagenesis of quartz-sand bars and lime-mud environments in the Devonian Basibé Formation (central Pyrenees, Spain)*. Leidse Geol. Meded., 46, pp. 1-55.

HARTEVELT, J. J. A. (1970): *Geology of the Upper Segre and Valira valleys, Central Pyrenees, Andorra/Spain*. Leidse Geol. Meded., 45, pp. 167-236.

HARTEVELT, W. F. J. (1971): *Stratigraphic position of the limestones and conglomerates around the Marimana Granodiorite, Central Pyrenees, Spain*. Geol. en Mijnbouw, vol. 50 (5), pp. 691-698.

JACQUOT, E. (1890): *Note sur la constitution géologique des Pyrénées. Le système cambrien*. Bull. Soc. géol. France (3), XVIII, pp. 640-672.

JOSEPH, J.; BRICE, D. & MOURAVIEFF, N. (1980): *Données Paléontologiques nouvelles sur le Frasnien des Pyrénées centrales et occidentales: implications paléogéographiques*. Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, 116, pp. 16-41.

JOSEPH, J.; MIROUSE, R. & PERRET, M. F. (1984): *Calcaires dévoniens et carbonifères du Monte Tobazo (Pyrénées*

aragonaises, Huesca, Espagne). Acta Geol. Hispánica, Barcelona, 19, pp. 149-166.

KLEINSMIEDE, W. F. J. (1960): *Geology of the Valle de Arán (Central Pyrenees)*. Leidse Geol. Meded., 25, pp. 129-245.

KRYLATOV, S. & STOPPEL, D. (1969): *La série des Agudes-Cap de Pales (zone primaire axiale des Pyrénées aux confins de la Haute Garonne et des Hautes-Pyrénées)*. Bull. Soc. géol. France, Paris (7), XI, pp. 484-490.

KRYLATOV, S. & STOPPEL, D. (1971): *Attribution au Frasnien de la série de Sia (zone primaire axiale des Pyrénées)*. *Ses rapports avec celle des Agudes-Cap de Pales*. *Conséquences paléogéographiques*. Z. Deutsch. Geol. Ges., Hannover, 122, pp. 213-230.

LABAUME, P.; SEURET, M. & SEYVE, C. (1985): *Evolution of a turbiditic foreland basin and analogy with an accretionary prism: example of the Eocene Sout-Pyrenean basin*. Tectonics, Washington, 4, 7, pp. 661-685.

LAUMONIER, B. (1988): *Les groupes Canaveilles et de Jujols (Paléozoïque Inferieur) des Pyrénées orientales arguments en faveur de l'âge essentiellement Cambrien de ces séries*. Hercynica, Rennes, IV, 1, pp. 25-38.

LAUMONIER, B. & GUITARD, G. (1986): *Le Paléozoïque inférieur de la moitié orientale de la Zone Axiale des Pyrénées. Essai de synthèse*. C. R. Acad. Sc. Paris, 302 (II), pp. 473-478.

LEYMERIE, M. (1862): *Réunion extraordinaire de la Société géologique de la France à Saint Gaudens*. Bull. Soc. géol. Fr., Paris, 2e., 19, pp. 1089-1163.

LEYMERIE, M. (1870): *Explication d'une coupe transversale des Pyrénées françaises passant par Luchon et Montréjeau, comprenant le massif de la Maladeta, avec projection du versant gauche des callées de la Pique et de la Garonne*. Bull. Soc. géol. Fr., Paris (2), XXVII, pp. 573-585.

LEYMERIE, M. (1881): *Description géologique et paléontologique des Pyrénées de la Haute Garonne*. Toulouse, 1010 pp.

LLOPIS LLADO, N. (1965): *Sur le Paléozoïque inférieur de l'Andorre*. Bull. Soc. géol. France, Paris (7), VII, pp. 652-659.

LOSANTOS, M.; PALAU, J. & SANZ, J. (1986): *Considerations about hercynian thrusting in the Marimanya massif (Central Pyrenees)*. Tectonophysics, Amsterdam, 129, pp. 71-79.

MAJESTE-MENJOUAS, C. (1979a): *Evolution alpine d'un segment de chaîne varisque: Nappe de Gavarnie, chevauchement Cinq-Monts-Gentiane (Pyrénées centrales et occidentales)*. Thèse Sci., Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 343 pp.

MARTINEZ, A.; VERGES, J. & SOLER, M. (1982): *Exploración estratégica y táctica del Pirineo Central: III Investigación geológico-minera de la zona Liat-Montgarri (Vall d'Aran)*. Informe interno. Inst. Geol. Min. Esp., Madrid, 60 pp.

MATTE, Ph. (1969): *Le problème du passage de la schisto-*

sité horizontale à la schistosité verticale dans le dôme de Garonne (Paléozoïque des Pyrénées Centrales). C. R. Acad. Sc. Paris, 268, pp. 1841-1844.

MATTE, Ph. & XU ZHI, Q. (1988): *Decollements in slate belts, examples from the European variscides and the Qin Ling Belt of Central China*. Geol. Rundschau, Stuttgart, 77, 1, pp. 227-238.

McCLELLAND, E. & McCAIG, A. M. (1989): *Palaeomagnetic estimates of rotations in compressional regimes and potential discrimination between thin-skinned and deep crustal deformation*. In: C. KISSEL and C. LAJ (Eds.): *Palaeomagnetic Rotations and Continental Deformation*, pp. 365-379.

MEY, P. H. W. (1967): *The Geology of the Upper Ribagorzana and Baliera valleys, Central Pyrenees, Spain*. Leidse Geol. Meded., 41, pp. 153-220.

MEY, P. H. W. (1968): *Geology of the Upper Ribagorzana and Tor valleys, Central Pyrenees, Spain*. Leidse Geol. Meded., 41, pp. 229-292.

MEY, P. H. W.; NAGTEGAAL, P. J. C.; ROBERTI, K. L. & HARTEVELT, J. J. A. (1968): *Lithostratigraphic subdivision of post-hercynian deposits in the South-Central Pyrenees, Spain*. Leidse Geol. Meded., 41, pp. 221-228.

MIROUSE, R. (1966): *Recherches géologiques dans la partie occidentale de la zone primaire axiale des Pyrénées*. Mém. Carte Geol. France, Paris, 451 pp.

MULLER, J. & ROGER, Ph. (1977): *L'évolution structurale des Pyrénées (Domaine central et occidental). Le segment hercynien, la chaîne de fond alpine*. Géologie Alpine, 53, pp. 149-191.

MUÑOZ, J. A. (1985): *Estructura Alpina i Herciniana a la vora sud de la Zona Axial del Pirineo Oriental*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 305 pp.

MUTTI, E.; RICCI-LUCCI, F.; SEGURET, M. & ZANZUCCHI, G. (1984): *Sismoturbidites: a new group of resedimented deposits*. Marine Geology, 55, pp. 103-116.

PALAU, J. & SANZ, J. (1989): *The Devonian units of the Marimanya Massif and their relationship with the Pyrenean Devonian facies areas*. Geodinamica Acta, Paris, 3, 2, pp. 171-182.

PARISH, M. (1984): *A structural interpretation of a section of the Gavarnie nappe and its implications for Pyrenean Geology*. J. Struct. Geol., Oxford, 6, pp. 247-255.

POUIT, G. (1985): *Les minéralisations Zn (Pb) Ba du Paléozoïque des Pyrénées Centrales: Une mise au point et un compte rendu des missions 1984*. Rapport du BRGM, Orleans, 85 DAM 037 GMX, 40 pp.

POUIT, G. (1986): *Les minéralisations Zn-Pb exhalatives sédimentaires de Bentailou et de l'anticlinorium paléozoïque de Bosost (Pyrénées ariégeoises, France)*. Chron. rech. min., 485, pp. 3-16.

POUGET, P. (1988): *Caractéristiques structuro-métamorphiques et processus d'évolution du Dome de Bosost (Pyré-*

nées centrales franco-espagnoles). Strata, Toulouse, série 1, vol. 4, pp. 153-157.

POUGET, P.; LAMOUREUX, C. & DEBAT, F. (1988): *Le dôme de Bosost (Pyrénées centrales): réinterprétation majeure de sa forme et de son évolution tectonométamorphique*. C. R. Acad. Sci. Paris, t. 307, série II, pp. 949-955.

RAGUIN, E. (1946): *Découverte de roches eruptives ordoviciennes dans les Pyrénées centrales*. C. R. Acad. Sc. Paris, 223, pp. 816-817.

RAVEN, J. G. M. (1983): *Conodont biostratigraphy and depositional history of the Middle Devonian to Lower Carboniferous in the Cantabrian Zone (Cantabrian Mountains, Spain)*. Leidse Geol. Meded., 52 (2), pp. 265-339.

RIOS, L. M. (1977): *El paso Devoniano-Carbonífero y las atribuciones erróneas al Carbonífero en los ríos Esera y Baliera, provincia de Huesca*. Bol. Geol. Min., Madrid, LXXXVIII, IV, pp. 300-305.

ROBERTI, K. J. (1970): *Mapa Geológico de los Valles de Flamisell y Mañanet (escala 1:25.000)*. In: ZWART (1979).

ROUSSEL, J. (1892): *Sur la composition des terrains primaires des Pyrénées*. Ann. Soc. Géol. Nord, Lille, 20, pp. 44-52.

ROUSSEL, J. (1893): *Etude stratigraphique des Pyrénées*. Bull. Serv. Carte géol. France, 5, núm. 35, 306 pp.

ROUSSEL, J. (1904): *Tableau stratigraphique des Pyrénées*. Bull. Serv. Carte géol. France, C. R. Collaborateurs, 15, núm. 97, pp. 23-141.

SANTANACH, P. F. (1972a): *Estudio tectónico del Paleozoico Inferior del Pirineo entre La Cerdaña y el rio Ter*. Tesis Doctoral, Univ. de Barcelona, 238 pp.

SANTANACH, P. F. (1972b): *Sobre una discordancia en el Paleozoico Inferior de los Pirineos orientales*. Acta Geol. Hispánica, Barcelona, 5, pp. 129-132.

SCHMIDT, H. (1931): *Das Paläozoikum der spanischen Pyrenäen*. Abh. Ges. Wiss. Göttingen Math.-Phys. Kl. (3), 5, pp. 981-1065.

SEGURET, M. (1972): *Etude tectonique des nappes et séries décollées de la partie centrale du versant sud des Pyrénées. Caractère synsédimentaire, rôle de la compression et de la gravité*. Publ. USTELA, Série Géol. struct., Montpellier, 2, 155 pp.

SEGURET, M. & PROUST, F. (1968a): *Contribution à l'étude des tectoniques superposées dans la chaîne hercynienne: l'allure anticlinale de la schistosité à l'Ouest du massif de l'Aston (Pyrénées Centrales) n'est pas originelle mais due à un replissement*. C. R. Acad. Sc. Paris, 266 (D), pp. 317-320.

SEGURET, M. & PROUST, F. (1968b): *Tectonique hercynienne des Pyrénées centrales: signification des schistosités redressées, chronologie des déformations*. C. R. Acad. Sc. Paris, 266 (D), pp. 984-987.

SITTER, L. U. de (1953): En FRANCKEN, 1954.

SITTER, L. U. de (1954a): *Note préliminaire sur la géologie du Val d'Aran*. Leidse Geol. Meded., 18, pp. 272-280.

SITTER, L. U. de (1954b): *Note provisoire sur la géologie préliminaire des Pyrénées ariégeoises et garonnaises*. Leidse Geol. Meded., 18, pp. 292-307.

SITTER, L. U. de & ZWART, H. J. (1962): *Geological map of the Paleozoic of the Central Pyrenees, 1:50.000; sheet 1 Garonne, sheet 2 Salat*. Leidse Geol. Meded., 27, pp. 191-236.

SNOEP, J. P. (1956): *Stratigraphy and structural geology of the district west of the Marimanya Granite, Valle de Aran*. Leidse Geol. Meded., 21, pp. 504-515.

SOULA, J. C.; DEBAT, P.; DERAMOND, J.; GUCHERREAU, J. Y.; LAMOUREUX, Ch.; POUGET, P. & ROUX, L. (1986a): *Evolution structurale des ensembles métamorphiques des gneiss et des granitoïdes dans les Pyrénées centrales*. Bull. Soc. géol. France, Paris, 8, II (1), pp. 79-93.

SOULA, J. C.; DEBAT, P.; DERAMOND, J. & POUGET, P. (1986b): *A dynamic model of the structural evolution of the Hercynian Pyrenees*. Tectonophysics, Amsterdam, 129, pp. 115-147.

VALENZUELA, J. I. (1989): *Conodontos del Lochkoviense y Praguense del Pirineo Central*. Tesis Doctoral, Univ. de Zaragoza, 118 pp.

VERNHET, Y. (1981): *Les minéralisations zincifères de l'Ordovicien et du Devonien du Val d'Orle (district de Sentein, Ariège) et la région de Fourcay (Val d'Aran, Espagne)*. Thèse 3ème Cycle, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, 226 pp.

VISVANATH, S. N. (1957): *Etude géologique de la région minière de Sentein (Pyrénées ariégeoises)*. Sci. de la Terre, Paris, V, 2-3, pp. 137-244.

WATERLOT, M. (1969): *Contribution à l'étude géologique du Carbonifère anté-stéphanien des Pyrénées centrales espagnoles*. Mem. Inst. Geol. Min. España, Madrid, LXX, 259 pp.

WENNEKERS, J. H. N. (1968): *The geology of the Esera valley and the Lys-Cailloas massif, Central Pyrenees, Spain, France*. Thesis, Univ. Leiden, 46 pp. In: ZWART, 1979.

WILLIAMS, G. D. (1985): *Thrust tectonics in the south central Pyrenees*. J. Struct. Geol., Oxford, 7, 1, pp. 11-17.

WILLIAMS, G. D. & FISCHER, M. W. (1984): *A balanced section across the Pyrenean orogenic belt*. Tectonics, Washington, 3, pp. 773-780.

ZAMARREÑO, I. (1975): *Las litofacies carbonatadas del Cámbrico de la Zona Cantábrica (NW, España) y su distribución paleogeográfica*. Trabajos Geol., Univ. Oviedo, 5, 118 pp.

ZANDVLIET, J. (1960): *The geology of the upper Salat and Pallaresa valleys, Central Pyrenees, France/Spain*. Leidse Geol. Meded., 25, pp. 1-127.

ZWART, H. J. (1958): *Regional metamorphism and related granitization in the Valle de Arán (Central Pyrenees)*. Geol. en Mijnbouw, Dordrecht, 20, pp. 18-30.

ZWART, H. J. (1960): *Relations to the folding and metamorphism in the Pyrenees, and their chronological succession*. Geol. en Mijnbouw, Dordrecht, 22, pp. 163-180.

ZWART, H. J. (1962): *On the determination of polymetamorphic mineral associations, and its application to the Bosost area (Central Pyrenees)*. Geol. Rundschau, Stuttgart, 52 pp. 38-65.

ZWART, H. J. (1963a): *Metamorphic history of the Central Pyrenees. Part. II. Valle de Arán, sheet 4*. Leidse Geol. Meded., 28, pp. 321-376.

ZWART, H. J. (1963b): *The structural evolution of the Paleozoic of the Pyrenees*. Geol. Rundschau, Stuttgart, 53, pp. 170-205.

ZWART, H. J. (1965): *Geological map of the Paleozoic of the Central Pyrenees, Aston, France, Andorra, Spain sheet 6*. Leidse Geol. Meded., 33, pp. 191-254.

ZWART, H. J. (1979): *The Geology of the Central Pyrenees*. Leidse Geol. Meded., 50, 74 pp.

ZWART, H. J. (1986): *The Variscan Geology of the Pyrenees*. Tectonophysics, Amsterdam, 129, pp. 9-27.

ZWART, H. J. & ROBERTI, K. F. (1976): *Mapa geológico a escala 1:50.000, de Flamisell-Pallaresa (núm. 9)*. In: ZWART (1979).

Original recibido: Septiembre de 1991.

Original aceptado: Octubre de 1991.

Cabalgamientos hercínicos en la Unidad de Herrera (Rama Oriental del Macizo Paleozoico de la Cordillera Ibérica).

Por D. NAVARRO VAZQUEZ (*)

RESUMEN

Se describe el área cercana a Santa Cruz de Nogueras (Teruel), cuya estructura, muy fracturada y compleja, es en síntesis un sinclinal NNO-SSE vergente al E, con la particularidad de que sobre los materiales de su núcleo de edad Siegiense-Emsiense aparecen en posición normal otros datados como Pridoliense-Gediniense. Se trata, por tanto, de «klippes» tectónicos, testigos de cabalgamientos de gran amplitud, anteriores a la fase de plegamiento hercínico flexural principal y con una geometría en la que destaca el marcado paralelismo entre las series del alóctono y las del autóctono.

Finalmente, se establece una correlación entre la Cordillera Ibérica y las Zonas Cantábrica y Asturoccidental-Leonesa del Macizo Hespérico.

Palabras clave: Tectónica, Cabalgamientos hercínicos, Paleozoico, Cordillera Ibérica.

ABSTRACT

This paper deals with an area near to Sta. Cruz de Nogueras (Teruel). Its very fractured structure is a NNW-SSE trending syncline. The core of the structure is of a Sieginian-Emsian age and appears normally overlaid by older Pridolian-Gedinnian materials. These structures (klippes) show the existence of large scale overthrust nappes in the Iberian Chains that took place before the flexural folding stage generally accepted to be the first hercynian tectonic phase.

The parallelism between the autochthonous and allochthonous series is also treated here. Finally a comparison between the Iberian Mountains and the Cantabrian and West Asturian-Leonese Zones is established.

Key words: Tectonic, Hercynian overthrust, Paleozoic, Iberian Mountains.

1. INTRODUCCION

La Unidad de Herrera, junto con la de Badules, estructuran el macizo paleozoico de Calatayud-Montalbán o Rama Oriental de la Cordillera Ibérica (fig. 1). La separación entre ambas viene dada por la Falla de Datos (LOTZE, 1929; CARLS, 1962), accidente hercínico de importancia regional que separa las series cambroordovícicas de la Unidad de Badules de aquellas otras más modernas (incluyen al Devónico) de la de Herrera.

En la Unidad de Herrera afloran materiales silúricos y devónicos pertenecientes a las Formaciones Bádenas, Luesma, Nogueras, Sta. Cruz y Ma-

riposas, con edades comprendidas entre el Llandoveryense Superior y el Emsiense. Todas ellas han sido definidas por CARLS (1965, 1971, 1974, 1975, 1977, 1979, 1982, 1983, 1986a) en los numerosos trabajos realizados por él en la zona.

La tectónica ha sido interpretada como distensiva (depresión axial del Cámaras) (CARLS, 1983); sin embargo, los datos obtenidos en este estudio permiten asegurar la existencia de una fase de tectónica tangencial anterior a la fase de plegamiento principal que regionalmente se reconoce como la primera.

2. ESTRATIGRAFIA

Dado el carácter tectónico de este trabajo, nos

(*) Empresa Nacional ADARO, S. A. Doctor Esquerdo, 138, 28007 Madrid.

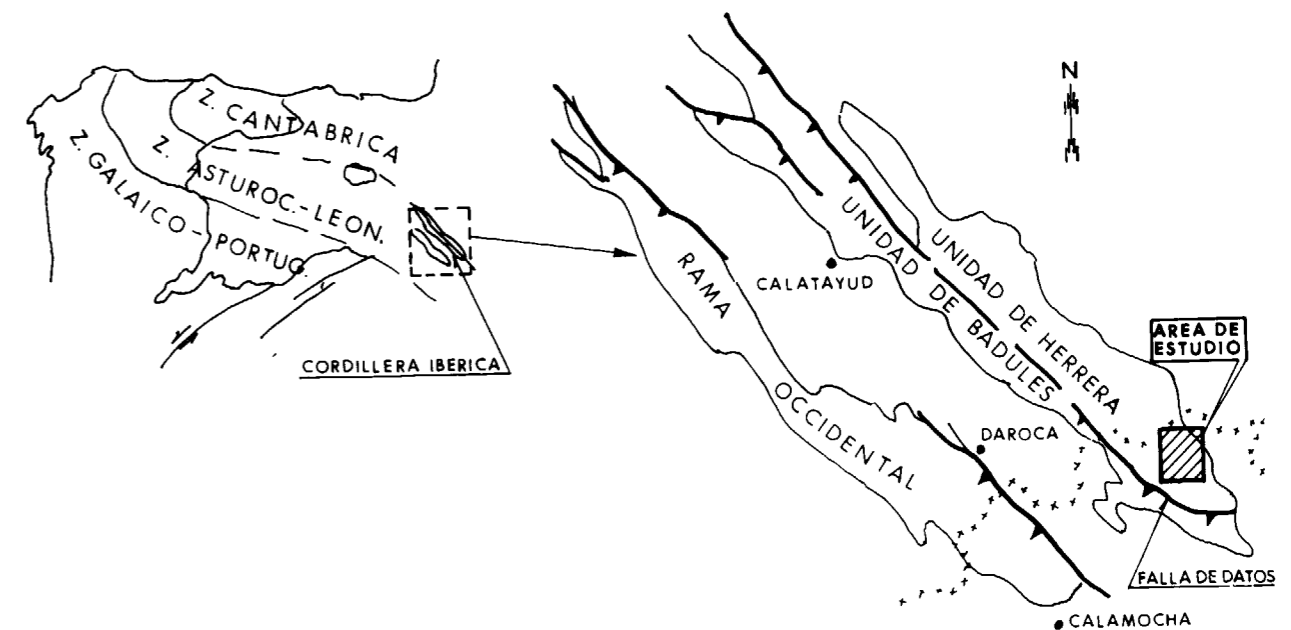


Figura 1.—Situación del área de estudio.

limitaremos a describir sucintamente la estratigrafía de los materiales presentes, haciendo constar que todas las formaciones, dataciones, etcétera, han sido definidas y descritas minuciosamente por CARLS y están recogidas en la Hoja, a escala 1:50.000, núm. 466 (Moyuela), del Mapa Geológico de España (MAGNA), y en la de Daroca, a escala 1:200.000.

De muro a techo, como ya se ha mencionado, se encuentran las siguientes unidades (fig. 2): Formación Bádenas, Formación Luesma, Formación Nogueras, Formación Santa Cruz y Formación Mariposas.

La Formación Bádenas está constituida mayoritariamente por pizarras arcillosas de color gris-negro, con tonalidades «beiges» debidas a la oxidación de los sulfuros (pirita) diseminados existentes; en menor proporción aparecen intercalaciones de limolitas, de arenas e incluso de conglomerados. Está subdividida en cinco miembros definidos en función del tamaño de grano de los mismos. Su fauna caracteriza el Llandovery Superior, en la base del miembro inferior, y el Ludloviense Medio, en el terminal.

La Formación Luesma está formada por un conjunto de materiales en el que predominan los

términos cuarcíticos y arenosos. Su potencia es de unos 200 m. y su identificación viene facilitada por los crestones que resaltan del conjunto. Se individualizan tres miembros con características litológicas y paleontológicas propias: el inferior son cuarcitas blancas muy puras; el medio areniscas, entre las que destaca un nivel de areniscas ferruginosas con un horizonte de mineral de hierro oolítico muy característico, y el superior, en el que a las areniscas se añade la presencia de niveles carbonatados. Posee un gran valor cronoestratigráfico, ya que en el miembro medio se ha definido el paso Silúrico-Devónico (CARLS, 1977), alcanzando el techo de la Formación la parte alta del Gediniense Inferior.

La Formación Nogueras, con unos 100 m. de espesor, es mayoritariamente carbonatada. También se distinguen tres miembros: el inferior y superior son, casi exclusivamente, calcáreos, pero en el medio predominan las lutitas. Es característica la presencia en la parte alta del miembro medio de un «hardground» de unos 20 cm. de espesor, constituido por nódulos de fosforita rodeados por goethita. Su datación, merced a la abundante fauna que posee, es Gediniense Superior-Siegiense Inferior.

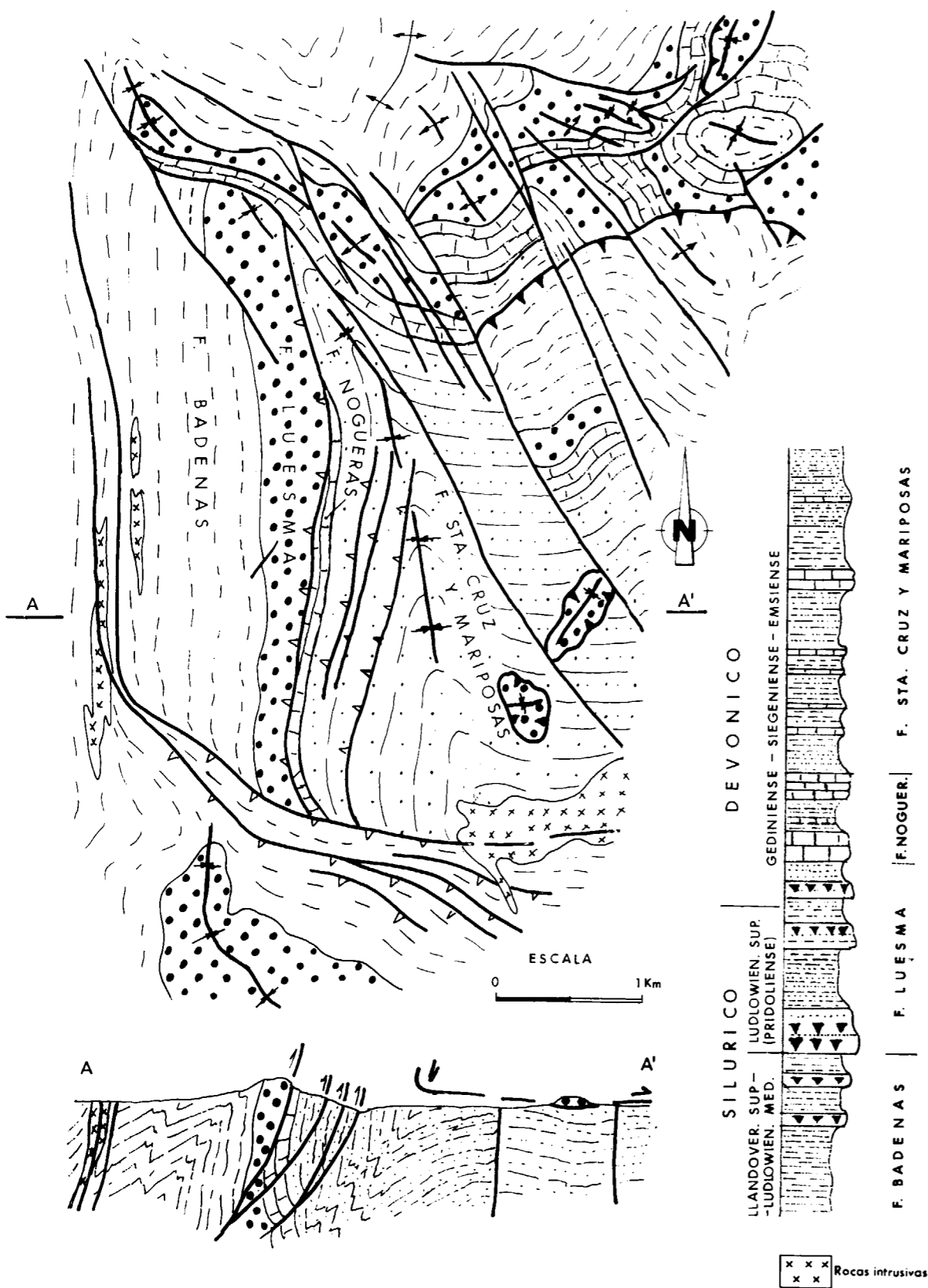


Figura 2.—Esquema geológico-estructural y columna estratigráfica.

La Formación Santa Cruz son lutitas de color gris oscuro a marrón. Aparecen en menor proporción algunos niveles areniscos de grano fino y otros calcáreo-arcillosos muy fosilíferos, que han permitido datar la formación como Siegeniense - Emsiense.

La Formación Mariposas, la más moderna, también está formada por lutitas arcillosas, diferenciándose de la anterior por el mayor contenido en niveles carbonatados. Su fauna, muy variada y abundante, permite caracterizar la parte alta del Emsiense Inferior y el Emsiense Superior.

3. TECTONICA

El área constituye un sinclinal, el «Sinclinal devónico de Santa Cruz de Nogueras», que forma parte a su vez de la Unidad de Herrera, macroestructura paleozoica de la Rama Oriental de la Cordillera Ibérica (fig. 3).

La Cordillera Ibérica ha sido clasificada por numerosos autores (JULIVERT et al., 1974) como una cadena montañosa de tipo intermedio, entre áreas de plataforma y orógenos alpinos ortotectónicos (Pirineos, Béticas), ya que aun pudiéndose encontrar puntualmente deformaciones intensas, como es el caso que nos ocupa, no son generalizadas, ni tampoco existe metamorfismo ni magmatismo importante. Ha sido afectada por las orogenias hercínica y alpina. La primera estructuró a los paleozoicos, y la segunda afectó a aquéllos y a la cobertera mesoterciaria.

Regionalmente, se considera que la orogenia hercínica desarrolló en primer lugar una fase de plegamiento—fase de plegamiento principal— que dio lugar a pliegues de directriz dominante NNO-SSE a N-S y vergencia ENE. Le siguió otra con cabalgamientos y fallas inversas (CAPOTE y GONZALEZ LODEIRO, 1983) y, finalmente, la etapa de fracturación tardihercínica que originó las grandes fracturas NO-SE, que, a su vez, fueron las que posteriormente condicionaron la sedimentación mesozoica (ALVARO, CAPOTE y VEGAS, 1978) y la tectorogénesis alpina.

3.1. TECTONICA LOCAL

Todo lo hasta ahora referido forma parte del

contexto hercínico comúnmente establecido. Ahora bien, en este área, pese a sus reducidas dimensiones, existen datos suficientemente demostrativos que atestiguan la existencia de una fase tectónica anterior a la regionalmente aceptada como «primera fase de plegamiento».

3.1.1. Fase de tectónica tangencial

En efecto, si las atribuciones cronoestratigráficas aceptadas son correctas, existen una serie de afloramientos donde materiales más antiguos se superponen en serie normal a otros más modernos, manteniéndose el paralelismo entre las respectivas estratificaciones.

En la parte E y SE (fig. 3) se encuentran varios cerro-testigos: Cabezo del Herrero, Cabezo de la Sima, etc., que, en realidad, son «klijpes» tectónicos en los que las cuarcitas de la F. Luesma, de edad Pridoliense-Gediniense se apoyan en serie normal sobre las series calco-margosas y lutíticas de las Formaciones Santa Cruz y Mariposas, de edad Siegeniense - Emsiense.

Por otro lado, a pesar de la distorsión que producen las grandes fallas transversales, puede también observarse la presencia de una superposición de series en el área que constituye todo el núcleo del sinclinal, al E de Sta. Cruz (fig. 3). La base del cabalgamiento está limitada al O por la gran falla de Sta. Cruz y su frente se sitúa en la depresión topográfica existente al N de la carretera de Sta. Cruz a Nogueras; allí se superponen las cuarcitas y areniscas de la F. Bádernas a los estratos calizos y lutíticos de Nogueras y Santa Cruz, a esta estructura la denominamos Manto de Regajo (fig. 3).

Otro «klijpe» espectacular es el del Cerro del Asno, en el extremo NE; allí, como en los dos primeros lugares mencionados, las cuarcitas de Luesma se apoyan sobre las series calcáreas de Nogueras (figs. 2 y 3).

3.1.2. Fase de tectónica flexural

El siguiente rasgo tectónico a considerar es la existencia del plegamiento que originó las dos grandes estructuras sinclinales, de Sta. Cruz y de la Modorra (fig. 3), con orientación axial preferente N-S a NNO-SSE y hundimiento hacia el S-

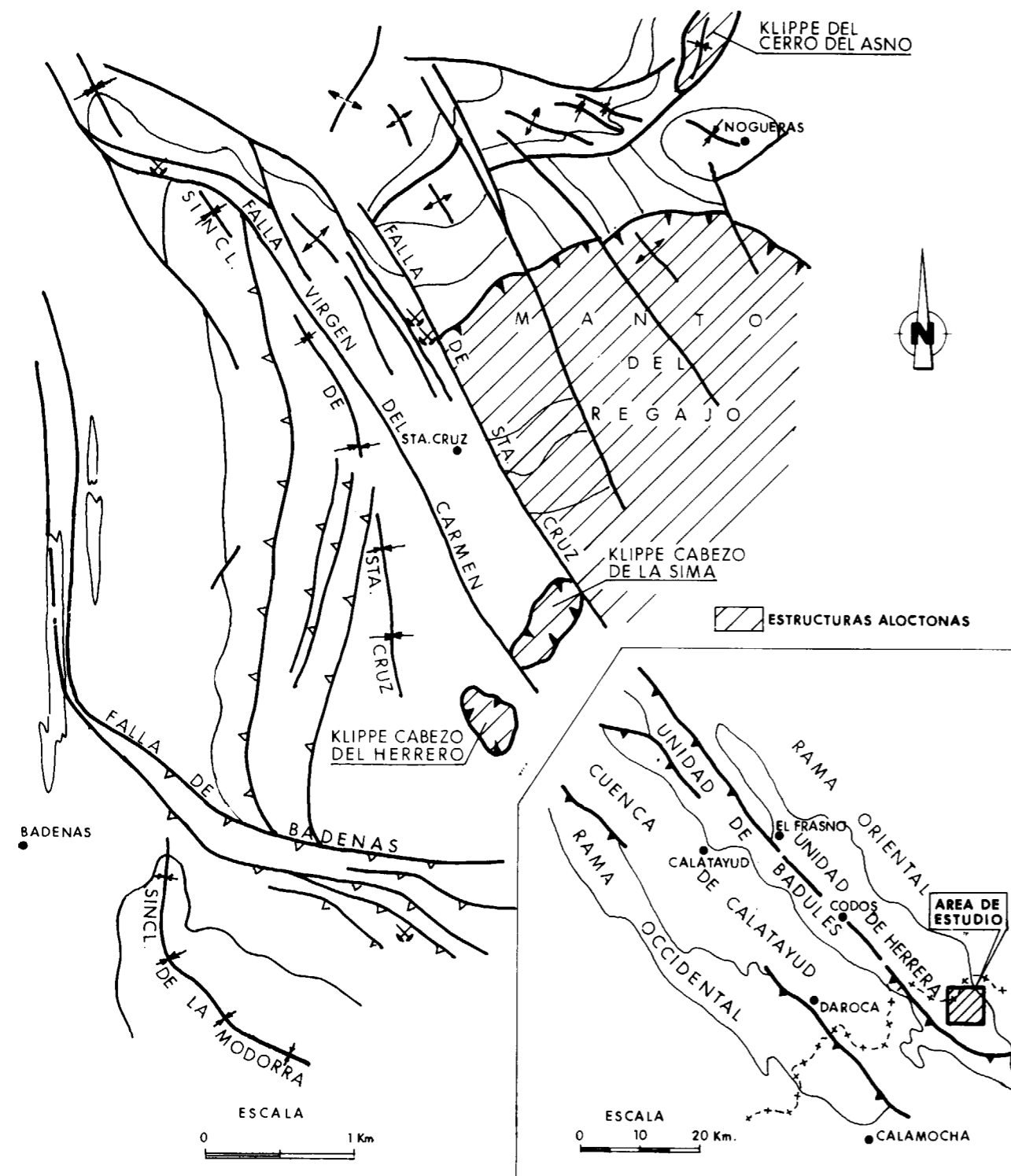


Figura 3.—Estructuras hercínicas y situación del área en el contexto de la Cordillera Ibérica.

SSE. Ambas poseen vergencia E y, mientras en la primera su flanco occidental aparece completo, el oriental aparece desfigurado por una compleja red de fallas y fracturas.

3.1.3. Fase de tectónica de fractura

Este complejo entramado de fallas y fracturas representa un episodio posterior en el que al menos pueden diferenciarse tres sistemas (figura 3).

El primer sistema lo constituyen fallas inversas de orientación N-O a NNE-SSO y vergencia E que actúan sobre los flancos invertidos de los pliegues (podrían ser los cabalgamientos citados por otros autores?).

El segundo grupo, falla Virgen del Carmen, falla de Sta. Cruz, el más espectacular, está formado por las grandes fallas de desgarre, de orientación NO-SE, que cruzan el área de un extremo a otro, llevan a veces asociados afloramientos de rocas intrusivas y con ellas están relacionados los numerosos indicios y mineralizaciones (Pb y Zn) de la zona.

El tercer grupo lo constituye el sistema de fallas inversas de dirección E-O a NO-SE, que aparecen en la parte meridional (falla de Bádenas) y son responsables de la superposición del sinclinal de la Modorra sobre el de Sta. Cruz. Aunque faltan sedimentos mesozoicos que podrían delimitar su edad, tanto por su directriz como por su «aire regional» parecen ser alpinas.

3.1.4. Historia tectónica

En consecuencia, del área cartografiada se extraen una serie de conclusiones que pueden estructurarse en una determinada secuencia tectogénica.

En primer lugar, en los tiempos post-devónicos, posiblemente en el Carbonífero Inferior, existió una primera etapa de tectónica tangencial que originó desplazamientos importantes a favor de superficies paralelas a la estratificación (sin que se hayan observado flancos invertidos, tipo apalachense). Fue anterior a la fase de plegamiento flexural, ya que tantos los «klippes» como el Manto del Regajo se encuentran plegados con las mismas directrices que el autóctono.

En segundo lugar, se produjo el plegamiento flexural que dio lugar a los dos sinclinales: La Modorra y Sta. Cruz. Es destacable de ellos su orientación, en parte N-S, que podría considerarse como una directriz paleozoica remanente, preservada bajo la NO-SE alpina mayoritaria. Paralelas al flanco occidental del sinclinal de Sta. Cruz existen fallas inversas con su misma dirección, producidas en los últimos estadios de esta fase de plegamiento flexural y que deben de corresponder con los cabalgamientos citados por numerosos autores en la Cordillera Ibérica.

La fuerte inclinación axial hacia el S y SE, a pesar de la inmersión generalizada en esa dirección y la presencia de ejes NE-SO, indica la existencia de otra fase ortogonal posterior, como se ha descrito en numerosas partes de la cordillera.

Por último, existe una tercera generación de estructuras hercínicas, son las fracturas de dirección NO-SE y fuerte componente de desgarre que corresponden regionalmente al estadio distensivo tardihercínico precursor de la etapa extensional mesozoica.

Otras estructuras como la falla de Bádenas, aunque de origen hercínico, poseen una dirección (N 100-120 E) más en consonancia con las directrices alpinas existentes inmediatamente al sur, por lo que aun siendo originarias del último ciclo hercínico, debieron jugar un importante papel en el alpino, superponiendo el sinclinal de la Modorra sobre el de Sta. Cruz.

3.2. CRONOLOGIA DE LAS DEFORMACIONES

No existen criterios estratigráficos en el área que permitan precisar la edad de las deformaciones. Únicamente datos regionales permiten una aproximación con otras áreas cercanas por similitud geométrico-estructural. Así, en la zona de Montalbán —inmediatamente al E— existen sedimentos westfalienses de tipo «flysch», con cantos devónicos y del Carbonífero Inferior (QUARCH, 1975; *in* CARLS, 1983), discordantes sobre el Devónico Medio-Superior; de ello se deduciría una edad Carbonífero Inferior para la primera fase de deformación (tectónica tangencial).

La actividad tectónica se prolongó durante todo el Carbonífero Superior como atestigua el ca-

rácter sinorogénico de la serie Westfaliense, es previsible, por tanto, que la fase de plegamiento flexural tuviera lugar a lo largo del Westfaliense, alcanzando su «clímax» al final del mismo. Por último, fue en la fase tardihercínica cuando se originaron las grandes fallas, que, en principio, fueron desgarrés, para pasar posteriormente a actuar de forma distensiva. Ello queda atestado por los depósitos permoestefanienses y por la actividad ígnea a ellas asociada.

4. SITUACION DE LA CORDILLERA IBERICA EN EL CONTEXTO HERCINICO IBERICO

Por último, resaltar la «similitud tectónica» de esta parte de la Cordillera Ibérica, la Unidad de Herrera, con la Zona Cantábrica del Macizo Hespérico, y más concretamente con la Región de Pliegues y Mantos (JULIVERT, 1983 a y b) de aquélla, dada la existencia de cabalgamientos de gran amplitud plegados y con su superficie de despegue subparalela a la estratificación, que afectan a materiales del Silúrico y Devónico. Esta «similitud tectónica» se suma a la ya descrita por GOZALO y LIÑAN (1958) en el área de Tabuena, en la parte NO de la Cordillera Ibérica, y apoya la hipótesis de que la prolongación de la Zona Cantábrica en la Cordillera Ibérica corresponde a la Unidad de Herrera.

La Unidad de Badules y la Rama Occidental (o macizo de Ateca) (figs. 1 y 3) corresponderían, por tanto, a la Zona Asturoccidental-Leonesa, y la separación entre ambas zonas está perfectamente definida en este área y al menos hasta las cercanías de Codos-Tobed-El Frasno (hacia el NO) por la Falla de Datos.

GOZALO y LIÑAN (1988) añaden otras similitudes, aparte de las tectónicas, como son: la existencia, al igual que en el Macizo Hespérico, de un anticlinorio precámbrico, la presencia dentro del anticlinorio precámbrico de cabalgamientos que separan sucesiones precámbricas diferentes y, en tercer lugar, la existencia de series paleozoicas diferenciadas a un lado y otro del anticlinorio precámbrico, series que abarcan desde el Cámbrico al Devónico en su flanco nororiental (Zona Cantábrica) y Cambro-Ordovícicas en el suroccidental (Zona Asturoccidental-Leonesa).

En la zona estudiada y áreas vecinas aparece la

misma situación estructural, a excepción del anticlinorio precámbrico, que aquí aparece relevado por la Falla de Datos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la E. N. ADARO y al ITGE las facilidades recibidas para la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

- ALVARO, M.; CAPOTE, R., y VEGAS, R. (1978): *Un modelo de evolución geotectónica para la cadena Celtibérica*. Acta Geol. Hispánica, 14. (Homenaje a Lluís Solé y Sabarís.)
- CAPOTE, R., y GONALEZ-LODEIRO, F. (1983): *La estructura hercínica en los afloramientos paleozoicos de la Cordillera Ibérica*. En: *Geología de España. Libro Jubilar J. M. Ríos*, t. I, 513-529.
- CARLS, P. (1962): *Eläuterungen zur geologischen Kartierung bei Luesma und Fombuena in den Ostlichen Iberischen Ketten, NE Spanien*. Dipl. Arb. Univ. Würzburg, 91 pp.
- CARLS, P. (1965): *Jung-Silurische und Unterdevonische Schichten der Ostlichen Iberischen Ketten (NE Spanien)*. Tesis Univ. Würzburg: 1-155.
- CARLS, P. (1971): *Stratigraphische Übereinstimmungen im höchsten Silur und tieferen Unter-Devon zwischen Keltibien (Spanien) und Bretagne (Frankreich) und das Alter des Grés de Gfoumont (Belgien)*. N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 1971 (4): 195-212.
- CARLS, P. (1974): *Die Proschizophoriinae (Brachiopoda: Silurium-Devon) der Ostlichen Iberischen Ketten (Spanien)*. Senckenbergiana Lethaea, 55 (1/2): 153-227.
- CARLS, P. (1975): *The Ordovician of the Eastern Iberian Chains near Fombuena and Luesma*. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 180 (2): 127-146.
- CARLS, P. (1977): *The Silurian-Devonian boundary in north-eastern and central Spain*. In: MARTINSSON, A. (ed.): *The Silurian-Devonian Boundary*, IUGS (A) 5: 143-158.
- CARLS, P. (1979): *Emsian-Eifelian Stratigraphy of the Eastern Iberian Chains*. In: GARCIA ALCALDE, J., et al. (ed.): *Meeting of the International Subcommission on Devonian Stratigraphy*, Guidebook of the Field trip: 35-39, Oviedo (Serv. Publ. Univ.).
- CARLS, P. (1982): *Das Kantabrische Devon und der Ibero-armorikanische Bogen aus keltiberischer Schicht*. N. Jb. Geol. Paläont., Abt., 163: 183-187.
- CARLS, P. (1983): *La Zona Asturoccidental-Leonesa en Aragón y el Macizo del Ebro como prolongación del Macizo Cantábrico*. En: COMBA, J. M. (ed.): *Libro Jubilar J. M. Ríos*, t. 3, 11-32.

CARLS, P. (1986a): *Ein Vorschlag zur biostratigraphischen Redefinition der Grenze Gedinium/Stegenium und benachbarter Unter-Stufen*. 1 Teil: *Stratigraphische Argumente und Korrelationen*. Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 87.

CARLS, P. (1986b): *Memoria explicativa de la Hoja número 466 (27-18). Moyuela. Mapa Geológico Nacional (MAGNA). 2.ª Serie*. ITGE.

CARLS, P., y GANDL, L. (1969): *Stratigraphie und Conodonten des Unter-Devons der Ostlichen Iberischen Ketten (NO Spanien)*. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., V, 132 (2): 155-218.

CONTE, J. C., y LAGO SAN JOSE, M. (1985): *El magmatismo de la Depresión del Cámaras y sector N del anticlinal de Montalbán: caracteres geológicos, petrológicos y geoquímicos*. XI Coloquio de Estratigr. y Paleogeograf. del Pérmico y Triásico de España. La Seu d'Urgel. Resúmenes, pp. 35-37.

CONTE, J. C., y LAGO SAN JOSE, M. (1985): *Características geoquímicas del magmatismo del área de la Depresión del Cámaras y sector N de Montalbán (Zaragoza-Teruel)*. I Congreso Geoquímica, Soria, p. 135.

GONZALO, R., y LIÑAN, E. (1988): *Los materiales hercínicos de la Cordillera Ibérica en el contexto del macizo ibérico*. Estudios Geológicos, 44, 399-404.

ITGE (1989): *Mapa Geológico de España, escala 1:50.000 (Moyuela). 2.ª Serie, 1.ª edición*.

ITGE (in litt.): *Mapa Geológico de España, escala 1:200.000 (Daroca). 1.ª edición*.

JULIVERT, M. (1983a): *La estructura de la Zona Cantábrica*. En: *Libro Jubilar J. M. Ríos*. IGME, t. 1, 339-381.

JULIVERT, M. (1983b): *La estructura de la Zona Asturoccidental-Leonesa*. En: *Libro Jubilar J. M. Ríos*. IGME, t. 1, 381-408.

JULIVERT, M.; FONTBOTE, J. M.; RIBEIRO, A., y CONDE, I. (1974): *Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1:1.000.000*. IGME.

LIÑAN, E. (1983): *Una nueva hipótesis sobre la estructura geológica del basamento al NE de la Península Ibérica*. Dpto. Paleontología, Univ. Zaragoza, 14 p. (inédito).

LIÑAN, E., y TEJERO, R. (1988): *Las formaciones precámbricas del antiforme de Paracuellos (Cadenas Ibéricas)*. Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geol.), 84 (1-2), 39-49.

LOTZE, F. (1929): *Stratigraphie und Tecktonik des Keltiberischen Grundgebirges (Spanien)*. Abh. Ges. Wiss. Göttingen, Math.-Phys. Kl. (N. ser.), 14 (2): 1-320.

OLIVEIRA, J. T.; GARCIA-ALCALDE, J. L.; LIÑAN, E., y TRUYOLS, J. (1986): *The Famennian of the Iberian Peninsula*. Ann. Societé Géologique de Belgique, 109: 159-174.

Original recibido: Junio de 1991.

Original aceptado: Septiembre de 1991.

Biolixiviación en columnas de sulfuros polimetálicos del yacimiento de Aznalcóllar (Faja Pirítica Ibérica).

Por A. CONCHA (*), R. OYARZUN (*), R. LUNAR (*) y J. SIERRA (*)

RESUMEN

Una alternativa al tratamiento clásico de los sulfuros polimetálicos a través del circuito flotación diferencial - fundición es el desarrollo de procesos hidrometalúrgicos eficientes que permitan la extracción selectiva de cobre, plomo y zinc. Entre las técnicas hidrometalúrgicas, la biolixiviación de menas sulfuradas complejas podría constituir un tipo de proceso limpio, de bajo costo y eficiente para extraer estos metales a partir de los materiales de mina (por lixiviación «in situ», en pila o de escombreras) o para subir selectivamente la ley (en cobre, plomo o zinc) en los concentrados de planta.

Esta investigación muestra los resultados de pruebas de lixiviación en columnas, de minerales de la mina de Aznalcóllar, mediante la utilización de soluciones ácidas conteniendo una cepa (ATCC 19859) de *Thiobacillus ferrooxidans*. Los minerales (8,57 Kg.; pirita-calcopirita-esfalerita-galena; 0,38 por 100 Cu, 4,42 por 100 Zn, 2,11 por 100 Pb) fueron lixiviados continuamente durante 31 semanas. El tamaño de partícula elegido estuvo entre +2,0 mm. (Series DIN 1171; parte inferior de la columna) y -2,0 +1,2 mm. (parte superior de la columna). Pruebas de lixiviación continua adicionales fueron realizadas en embudos de decantación (3.000 ml.; 0,9 Kg. de mena; -2,0 +1,2 mm.) durante 28 semanas.

Se alcanzaron altas extracciones de zinc (59,9 por 100 - 63,0 por 100) cuando el pH fue nivelado en 2,0. Cuando se pararon las pruebas el proceso de lixiviación continuaba a una tasa sostenida, por lo que puede presumirse que extracciones mayores pueden conseguirse si se emplea más tiempo en el proceso.

La precipitación generalizada de minerales refractarios al proceso (e.g. sulfatos férricos) sobre las superficies de los granos de sulfuros fue impedida mediante la no utilización del medio nutriente 9K durante la lixiviación. La precipitación de sulfatos hidratados de zinc y de hierro ferroso (gunningita, $ZnSO_4 \cdot 6H_2O$, rozenita y melanterita) tomó lugar bajo condiciones extremas de sobresaturación, y puede ser considerada como un fenómeno restringido que no impidió la extracción de metales.

Palabras clave: Biolixiviación, *Thiobacillus ferrooxidans*, Sulfuros polimetálicos, Minerales refractarios, Aznalcóllar.

ABSTRACT

An alternative to the classic differential flotation - smelter circuit to treat complex sulphide ores is the development of efficient hydrometallurgical processes leading to the selective extraction of copper, lead and zinc. Among the hydrometallurgical techniques, the biological leaching of complex sulphide ores might result in a clean, cheap and efficient method to extract these metals from the mine materials (through «in situ», heap-, or dump-leaching) or to upgrade the plant concentrates.

This research shows the results of column leaching tests on complex sulphide ores from the Aznalcollar mine, using acid solutions containing a strain (ATCC 19859) of *Thiobacillus ferrooxidans*. The ore (8.57 Kg.; pyrite-chalcopyrite-sphalerite-galena; 0.38 per 100 Cu, 4.42 per 100 Zn, 2.11 per 100 Pb) was continuously leached during 31 weeks. Particle size ranged between +8 (BSS 410; lower half of the column) and -8 +14 (upper half of the column). Additional leaching tests were run on separatory funnels (3,000 ml.; 0.9 Kg. of ore; -8 +14) during 28 weeks.

High extraction of zinc (59.9 - 63.0 per 100) was achieved when pH was set-up at 2.0. When leaching tests were stopped, the process was still going strong, therefore, higher extractions can be achieved providing enough time is employed to complete the process.

(*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

Precipitation of refractory minerals (e.g. ferric sulphates) on the sulphide mineral surfaces was generally inhibited by avoiding the use of the cation-rich 9K nutrient medium (basal salts). Mineral precipitation of hydrated zinc and ferrous iron sulphates (gunningite, $ZnSO_4 \cdot 6H_2O$, rozenite, and melanterite) occurred under restricted supersaturation conditions, and can be regarded as localized phenomena which did not prevent metal extraction.

Key words: Bioleaching, *Thiobacillus ferrooxidans*, Complex sulphide ores, Refractory minerals, Aznalcollar.

1. INTRODUCCION

Las mineralizaciones sulfuradas complejas (e.g. pirita-calcopirita-esfalerita-galena) presentan una serie de problemas metalúrgicos relacionados con la tecnología extractiva en uso i. e. flotación diferencial. En la actualidad, a partir de este procedimiento se obtienen concentrados de cobre, de zinc y de plomo, cada uno de los cuales contiene además contenidos variables en los otros dos metales. Aparte de la baja recuperación del metal en cada concentrado, en general, las fundiciones (si no pertenecen a la misma compañía) pagan poco o nada por los contenidos en los otros dos metales (pagándose por el metal principal en cada concentrado). Una solución para este problema consiste en subir químicamente la ley de cabeza o de los concentrados («chemical upgrading») (1) extrayendo selectivamente uno o dos metales. Esto puede ser hecho mediante ataque químico-bacteriano (proceso oxidativo) sobre una mineralogía inicial del tipo pirita-calcopirita-esfalerita-galena. Los resultados obtenidos por este grupo de investigación demuestran que esta biotecnología podría ser empleada sobre mineralizaciones españolas del tipo sulfuros masivos (e.g. yacimientos de la Faja Pirítica Ibérica), quedando —no obstante— algún camino por recorrer en lo que se refiere a la optimización del medio lixivante.

A diferencia de los trabajos más clásicos sobre el tema, esta investigación ha incorporado, aparte de los aspectos químicos y biológicos, el estudio mineralógico del problema. Resulta sorprendente la poca atención que se ha prestado a este aspecto, el que a nuestro juicio es básico si se quiere entender el proceso de biolixiviación globalmente. No debemos olvidar que el substrato que se está lixiviando está compuesto por minerales, y que parte de los problemas que presenta esta tecnología se refieren justamente a la inadecuada interacción solución-mineral y/o a la formación de capas de minerales refractarios (e.g. minerales del grupo de la jarosita) (2). Estos minerales refractarios precipitan sobre la

superficie de los granos de sulfuros, impidiendo o disminuyendo la capacidad de ataque y transporte por parte de la solución. De hecho, cuando se forma una capa de jarosita sobre un sulfuro, la oxidación puede proceder sólo por difusión a través de la capa sulfatada (2).

De esta manera la investigación se centró en la observación y análisis de las condiciones bajo las cuales precipitaban minerales refractarios, y en la búsqueda de mecanismos químicos que impidiesen en lo posible la precipitación de estas especies minerales.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. MICROORGANISMOS Y CONDICIONES DE CRECIMIENTO

El microorganismo utilizado durante esta investigación fue una cepa de *Thiobacillus ferrooxidans* (ATCC 19859), de la American Type Culture Collection, gentilmente cedida por el Dr. H. Maturana (Universidad de La Serena, Chile, Departamento de Minas). *T. ferrooxidans* fue crecido en un medio líquido 9K (3) a pH 2,5 y con un contenido en sales de 3,0 g/l. de $(NH_4)_2SO_4$; 0,1 g/l. de KCl; 0,5 g/l. de K_2HPO_4 ; 0,5 g/l. de $MgSO_4 \cdot 7H_2O$; 0,015 g/l. de $Ca(NO_3)_2$; 44,2 g/l. de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$. Para conseguir la adaptación del microorganismo a los minerales de Aznalcóllar se añadieron al citado medio cantidades cada vez mayores del mineral, comenzando con una densidad de pulpa de 1,5 por 100 para terminar con 3,0 por 100. Dicho período de crecimiento y adaptación fue realizado en erlenmeyers sujetos a agitación continua (100-150 rpm), a 28° C, durante siete semanas.

El recuento de microorganismos vivos durante este período se realizó en el Departamento de Microbiología de la Facultad de Farmacia (UCM), mediante el método de conteo directo por microscopía de epifluorescencia (4,5).

2.2. MINERALOGIA DEL SUBSTRATO SUJETO A LIXIVIACION

El mineral sobre el que se basa esta investigación procede de la mina de Aznalcóllar (Faja Pirítica Ibérica), donde se explotan sulfuros polimetálicos para la obtención de concentrados de cobre, plomo y zinc (parte de la producción está también orientada hacia la producción de ácido sulfúrico) (6). El yacimiento de Aznalcóllar está constituido, en su mayor parte, por pirita masiva y contenidos variables en esfalerita, galena y calcopirita (en orden decreciente de importancia). Las principales características texturales de estos minerales se muestran en la figura 1. La ley media de cabeza del mineral utilizado en las pruebas de biolixiviación es la siguiente: 4,42 por 100 Zn, 2,11 por 100 Pb y 0,38 por 100 Cu.

2.3. COLUMNAS DE LIXIVIACION (A, AU-1, AU-2)

2.3.1. Prueba A

Para las pruebas de lixiviación se diseñó un tipo de columna de vidrio con las siguientes características: 1.100 mm. (altura) \times 75 mm. (diámetro) (fig. 2 A). Presenta tres aperturas laterales regularmente espaciadas desde arriba hacia abajo que permiten una fácil obtención de muestras durante el proceso. La columna fue cargada con dos fracciones granulométricas (gruesa y media) del mineral de Aznalcóllar, hasta una altura efectiva de mineral de 810 mm. (70 por 100 de la columna):

Fracción gruesa: +2 mm. (Series DIN 1171): 3,780 Kg. de mineral localizados en la parte inferior de la columna. Bajo esta carga se colocó lana de vidrio para que actuase como material filtrante. Leyes del mineral: 45,4 por 100 S; 39,0 por 100 Fe; 4,3 por 100 Zn; 2,10 por 100 Pb; 0,38 por 100 Cu; 72 ppm Ag.

Fracción media: +1,2 -2 mm. (Series DIN 1171): 4,790 Kg. de mineral situados sobre la fracción +2 mm. Leyes del mineral: 44,25 por 100 S; 38,0 por 100 Fe; 4,55 por 100 Zn; 2,12 por 100 Pb; 0,37 por 100 Cu; 71,5 ppm Ag.

Una vez cargada la columna se procedió a un proceso de «curado» del mineral mediante la adi-

ción de 1,5 l. de una solución ácida (agua bidestilada; pH⁻ 2,5; acidulada con ácido sulfúrico) inoculada con 15 ml. de cultivo adaptado de *T. ferrooxidans*. El mineral cargado se mantuvo en reposo cerrándose la llave inferior de la columna durante cinco días. El mineral no debe quedar totalmente inundado (8), ya que en ese caso no se genera una adecuada oxigenación en el interior de la columna, impidiéndose el comienzo de la oxidación del ión ferroso a férrico. Durante el período de curado el pH subió a 4,0 y la población de *T. ferrooxidans* descendió de 5×10^6 microorganismos/cc. a 10^5 microorganismos/cc.

2.3.2. Pruebas AU-1 y AU-2

Con el fin de realizar pruebas adicionales a pH inferior (2,0) y con mezcla de ácidos se cargó mineral de la fracción +1,2 -2,0 mm. en dos embudos de decantación (3.000 ml.), cada uno con una carga de mineral de 0,9 Kg. (fig. 2 B). Filtros de lana de vidrio fueron colocados bajo la carga de mineral. Para la prueba AU-1 se empleó una acidulación con una mezcla de ácido sulfúrico - ácido clorhídrico en proporción 7 : 3 en volumen. En la prueba AU-2 se utilizó ácido sulfúrico como único agente acidulante. La altura efectiva de mineral fue de 100 mm. Problemas mecánicos con una de las bombas peristálticas alargaron inesperadamente el período de curado en los embudos de decantación a 21 días. El curado del mineral se realizó con 260 ml. de solución ácida (pH: 2,0) inoculada con 2,6 ml. de cultivo adaptado de *T. ferrooxidans*.

2.3.3. Instalación del circuito abierto y continuo en las pruebas A, AU-1 y AU-2

Una vez extraída la solución del curado descrita anteriormente, se procedió a la fase de lixiviación continua con interfase abierta al exterior (reservorio de solución) para permitir una buena oxigenación de la solución. La circulación continua se logró mediante el empleo de dos bombas peristálticas de dos tomas cada una (flujo medio: 60 ml/min.) (fig. 2 B). Para la prueba A se utilizó una solución permanente de 1.000 ml., y de 800 ml. para las pruebas AU-1 y AU-2. Los tiempos de lixiviación fueron de 215 días (columna A)) y de 193 días (embudos de decantación AU-1 y AU-2).

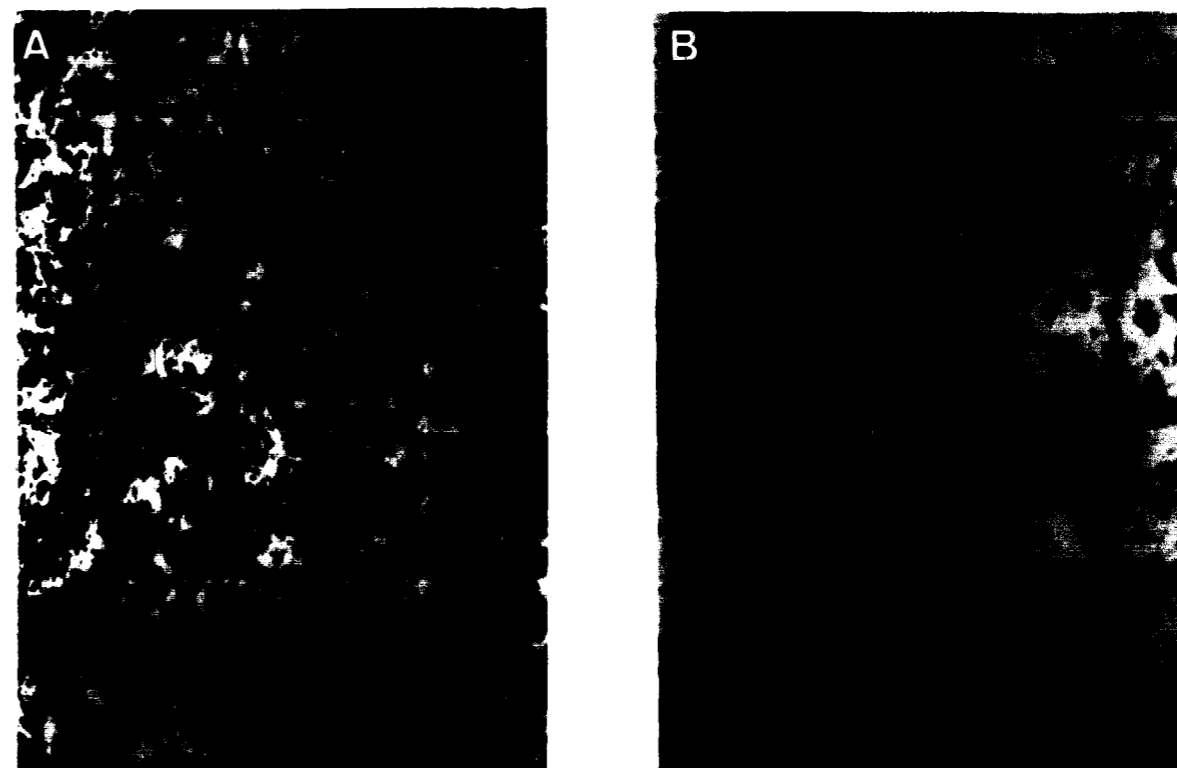


Figura 1.—Fotomicrografías de la mineralización sulfurada de Aznalcóllar. A) Pirita (Py), calcopirita (Cpy) y menor esfalerita (Sph); $\times 60$. B) Calcopirita y esfalerita relleno huecos entre cristales idiomorfos de pirita; $\times 250$.

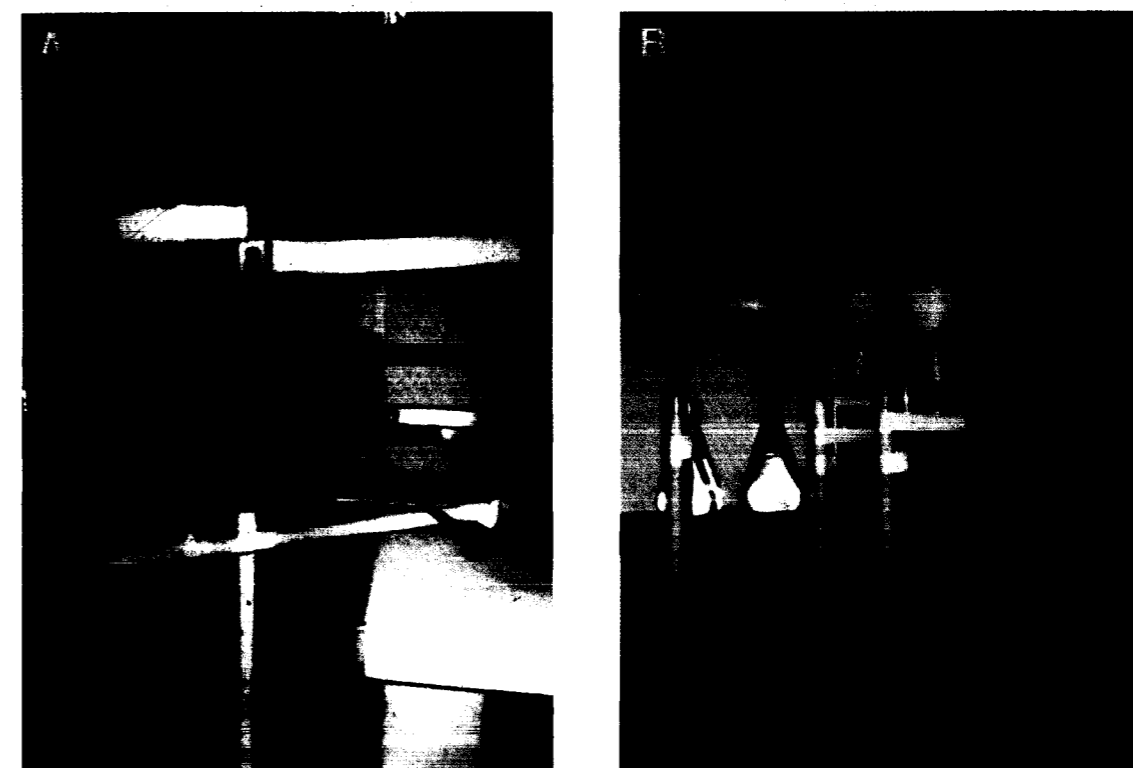


Figura 2.—Pruebas de laboratorio. A) Columna Aznalcóllar (A), aperturas laterales (al). B) Pruebas en embudos de decantación (AU-1 y AU-2), reservorio de solución (RS) de la prueba AU-1, bomba peristáltica (BP).

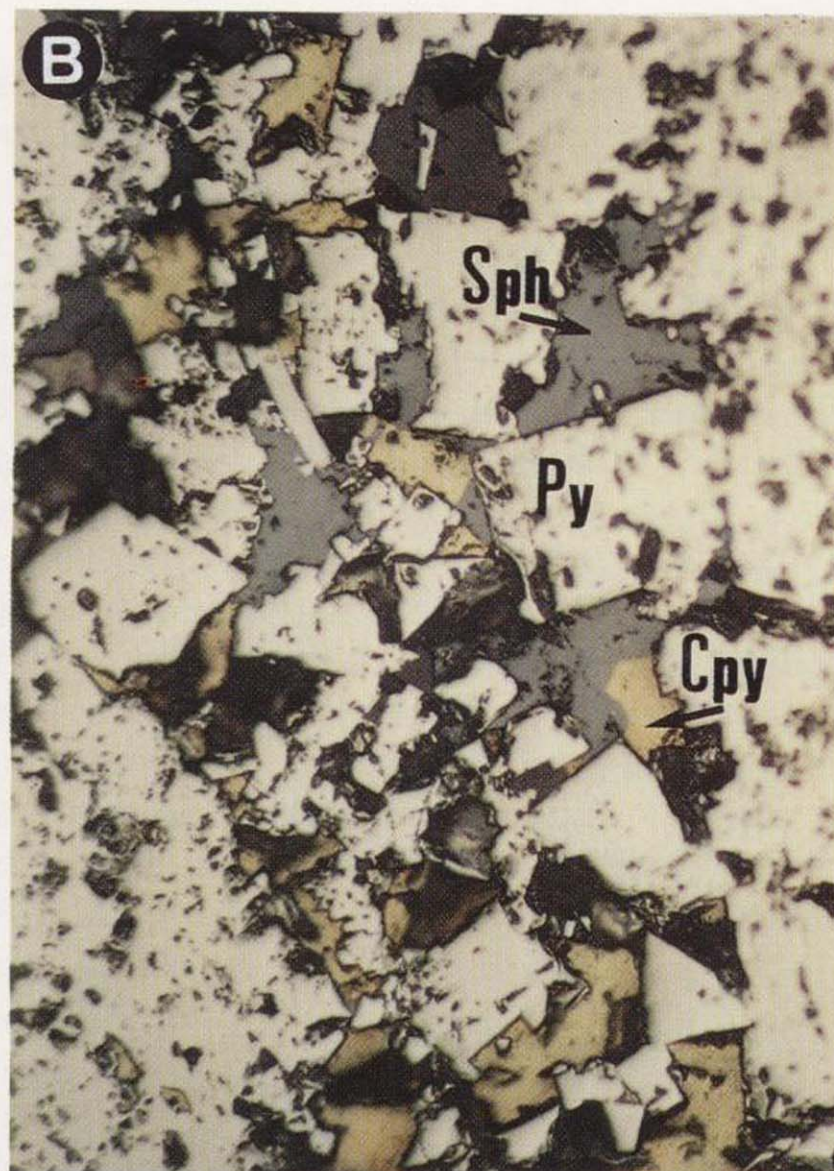


Figura 1.—Fotomicrografías de la mineralización sulfurada de Aznalcóllar. A) Pirita (Py), calcopirita (Cpy) y menor esfalerita (Sph); $\times 60$. B) Calcopirita y esfalerita relleno huecos entre cristales idiomorfos de pirita; $\times 250$.

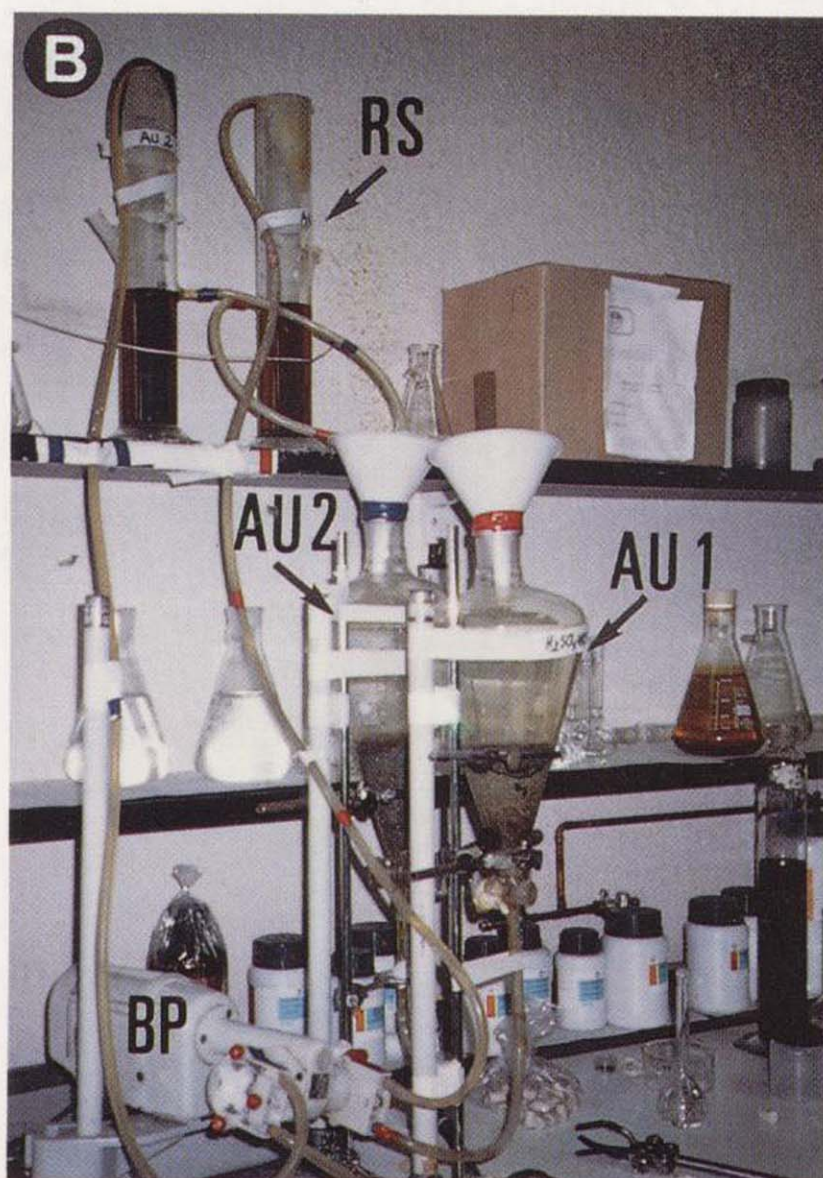
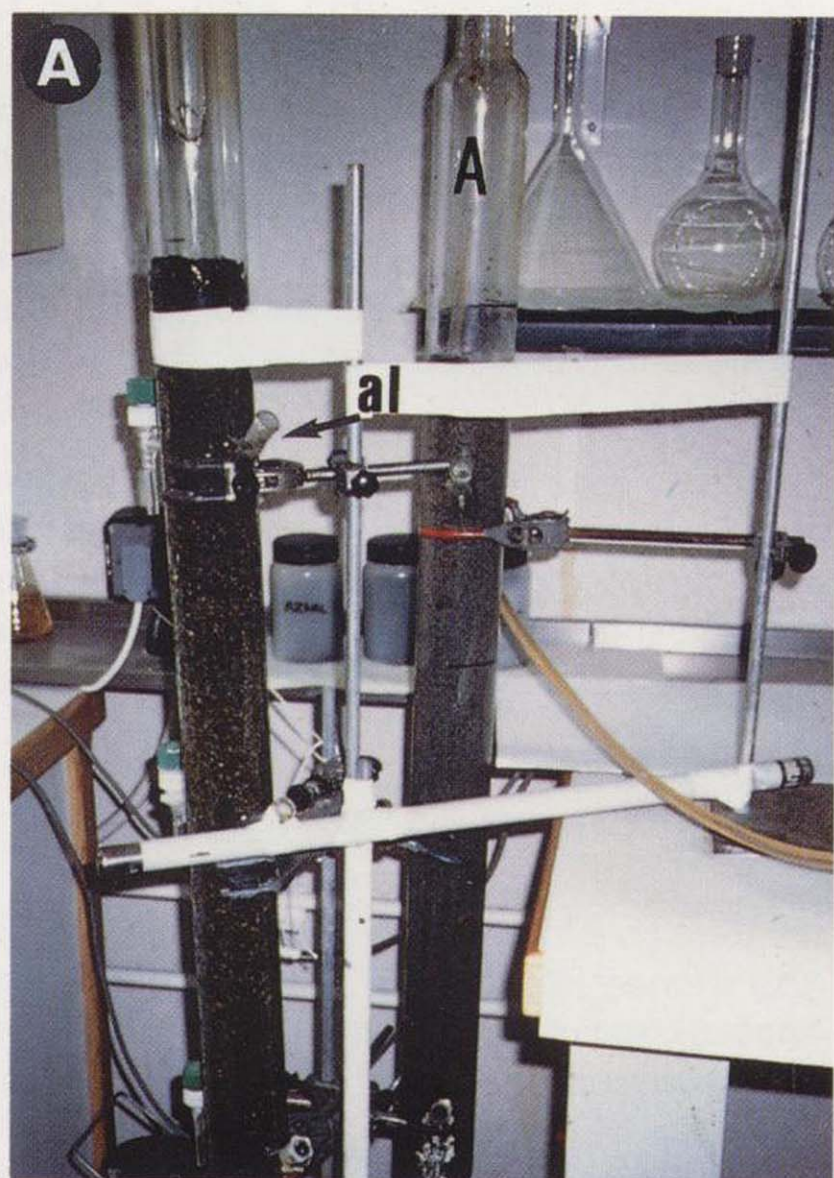


Figura 2.—Pruebas de laboratorio. A) Columna Aznalcóllar (A), aperturas laterales (al). B) Pruebas en embudos de decantación (AU-1 y AU-2), reservorio de solución (RS) de la prueba AU-1, bomba peristáltica (BP).

3. T. FERROOXIDANS — EL MEDIO 9K — CONTROL DEL pH

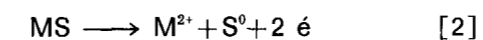
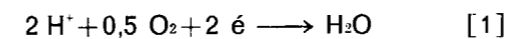
3.1. T. FERROOXIDANS Y EL MEDIO 9K

Cabe destacar que durante la lixiviación se evitó la utilización del medio nutriente 9K (o de cualquier otro medio artificial) a fin de inhibir la precipitación de especies minerales refractarias (e. g. jarositas). Se ha observado que la no utilización de este medio no impidió el crecimiento de la población de T. ferrooxidans a niveles que pudiesen ser considerados como perjudiciales para el proceso en términos globales, y que, por el contrario, como se verá en otras secciones, resultó ser una decisión adecuada, ya que no se detectó la presencia de minerales del grupo de la jarosita.

3.2. T. FERROOXIDANS Y EL pH

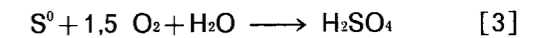
Se ha observado que el pH aumenta con el tiempo. Este aumento es importante, sobre todo al comienzo (e. g. 2,5 a 3,7 en 14 horas), de hecho, a los tres días de haberse iniciado el proceso el aumento del pH no supera la décima de unidad cada 24 horas. Ante este problema, se decidió controlar y acidular periódicamente la solución (cada 24 horas en las primeras semanas). Este problema fue particularmente importante en los primeros 40 días en la columna A y primeros 65 días en las pruebas AU-1 y AU-2. A partir de ese punto el consumo de ácido fue menor, llegando a ser nulo a partir de los 120 días (pruebas AU-1 y AU-2).

De acuerdo a ELZEKY y ATTIA (9), si al comienzo de la lixiviación las bacterias no están totalmente adaptadas, el pH tiende a subir debido a la reacción de algunos productos de oxidación superficial y/o a reacciones galvánicas:



La reacción catódica [1] consume hidrogeniones, mientras que la reacción anódica [2] genera azufre elemental, en otras palabras, estas reacciones consumen ácido sulfúrico e incrementan el pH de la solución lixivante. Cuando la actividad bacteriana comienza a ser efectiva el pH tiende

a decrecer debido a la oxidación del azufre elemental a ácido sulfúrico:



El pH parece haber sido (entre otros) un factor decisivo en el crecimiento de las poblaciones de T. ferrooxidans. Así, a los 70 días de lixiviación continua en las pruebas AU-1 y AU-2 las poblaciones habían alcanzado valores de $1,30 \times 10^6$ y $4,09 \times 10^6$ microorganismos/cc., respectivamente, lo que muestra que el crecimiento se produjo de una manera óptima (población inicial = 10^5 microorganismos/cc.). En el mismo período, se contaron sólo $8,0 \times 10^5$ microorganismos/cc. en la columna A. Recordemos que en esta última el pH era de 2,5 versus 2,0 en las pruebas AU-1 y AU-2, donde, como se verá a continuación, la extracción de zinc fue máxima.

4. LIXIVIACION DE METALES

4.1. TOMA DE MUESTRAS

Se tomaron muestras de solución cada 5-10 días para ser analizadas por Cu, Zn y Fe mediante espectrometría de plasma ICP. Se intentó igualmente determinar las concentraciones de Pb y Ag en las soluciones; sin embargo, las bajas concentraciones de estos metales impidieron su detección.

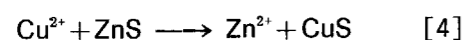
4.2. RESULTADOS

Los principales resultados se muestran a continuación (fig. 3):

	%
1) Extracción de zinc:	
Prueba A	12,65
Prueba AU-1	63,04
Prueba AU-2	59,85
2) Extracción de cobre:	
Prueba A	17,84
Prueba AU-1	13,33
Prueba AU-2	12,99

De estos resultados se desprenden varias apreciaciones:

- 1) La incorporación de HCl al medio lixivante (prueba AU-1) no genera un aumento significativo en la extracción de metales (compárese con prueba AU-2).
- 2) El pH parece ser un factor significativo en lo que respecta a la capacidad extractiva de la solución (compárese pruebas AU-1 y AU-2 versus A); así, a pH menor la extracción se incrementó sustancialmente en el caso del zinc y disminuyó ligeramente en el caso del cobre.
- 3) El fuerte contraste observado para cobre y zinc (baja versus alta lixiviación) en las pruebas AU-1 y AU-2 puede ser explicado en términos de reacciones galvánicas. Investigaciones recientes (10) muestran que el cobre en solución es galvánicamente cementado en presencia de esfalerita, proceso que lleva a una disminución gradual del contenido de cobre en la solución lixivante:



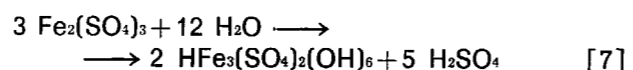
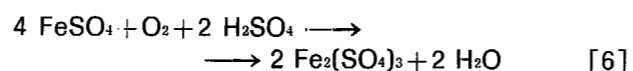
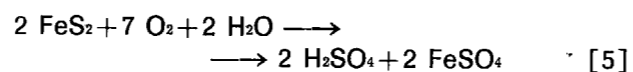
De hecho, la disolución de esfalerita en presencia de otros sulfuros puede ser explicada en función de la electroquímica de esos minerales (10). Entre las diferentes combinaciones binarias posibles para esfalerita (esfalerita-galena, esfalerita-calcopirita, esfalerita-pirita), el par esfalerita-pirita muestra el potencial de combinación más alto, así como una corriente galvánica indicando una actividad electroquímica mayor para la esfalerita en ese par. En este sentido, la lixiviación del zinc sigue el principio galvánico, obteniéndose una máxima extracción cuando se encuentra presente el par esfalerita-pirita. Esto es particularmente relevante a esta investigación, ya que si consideramos que la pirita es largamente el mineral principal de Aznalcóllar, entonces una alta lixiviación del zinc se encontraría asegurada si, además, las condiciones de pH (e.g. 2,0) son las adecuadas. Esto, sumado al hecho de la conducta inversa seguida por el cobre y el zinc (ver reacción [4]), permitiría asegurar una extracción selectiva de este último a partir de una mezcla estandar de sulfuros del mineral de Aznalcóllar.

- 4) Como se pudo apreciar en los resultados de extracción (fig. 3), la lixiviación no se desarrolló de manera continua en el tiempo, sino que períodos de alta extracción fueron seguidos por etapas de mínima o nula lixiviación. Esta situación puede estar reflejando ciclos de actividad bacteriana mínima causada por niveles de toxicidad por metales cada vez mayores. Se puede inferir que, bajo estas circunstancias, una parte de la población de *T. ferrooxidans* lograría una adaptación adecuada a los nuevos niveles de concentración catiónica, multiplicándose, y así iniciando un nuevo ciclo extractivo.

5. EFECTOS DE LA LIXIVIACION SOBRE LA MINERALOGIA INICIAL

5.1. ASPECTOS GENERALES

Como se planteaba en la introducción de este trabajo, uno de los aspectos prioritarios de esta investigación era el estudio de la reacción de la fase mineral sulfurada ante un proceso oxidativo en presencia de una solución bacteriana ácida. Dado que la precipitación de sulfatos férricos o hidróxidos de hierro sobre la fase sulfurada impide el contacto de las bacterias con el sustrato sólido (2, 11), el proceso de disolución disminuye o cesa totalmente. Considerando el carácter principalmente pirítico del mineral de Aznalcóllar, se esperaba que la fase sulfurada principal (aun no utilizando el medio 9 K) estuviese compuesta por algún mineral del grupo de la jarosita (2, 12), y que éste precipitase a partir de reacciones del tipo:



Estas reacciones de oxidación son fuertemente estimuladas por la actividad de bacterias del tipo *T. ferrooxidans* (12). Otro factor importante en la precipitación de sulfatos férricos y/o jarositas durante procesos de lixiviación bacteriana es la utilización del medio nutriente 9 K (2).

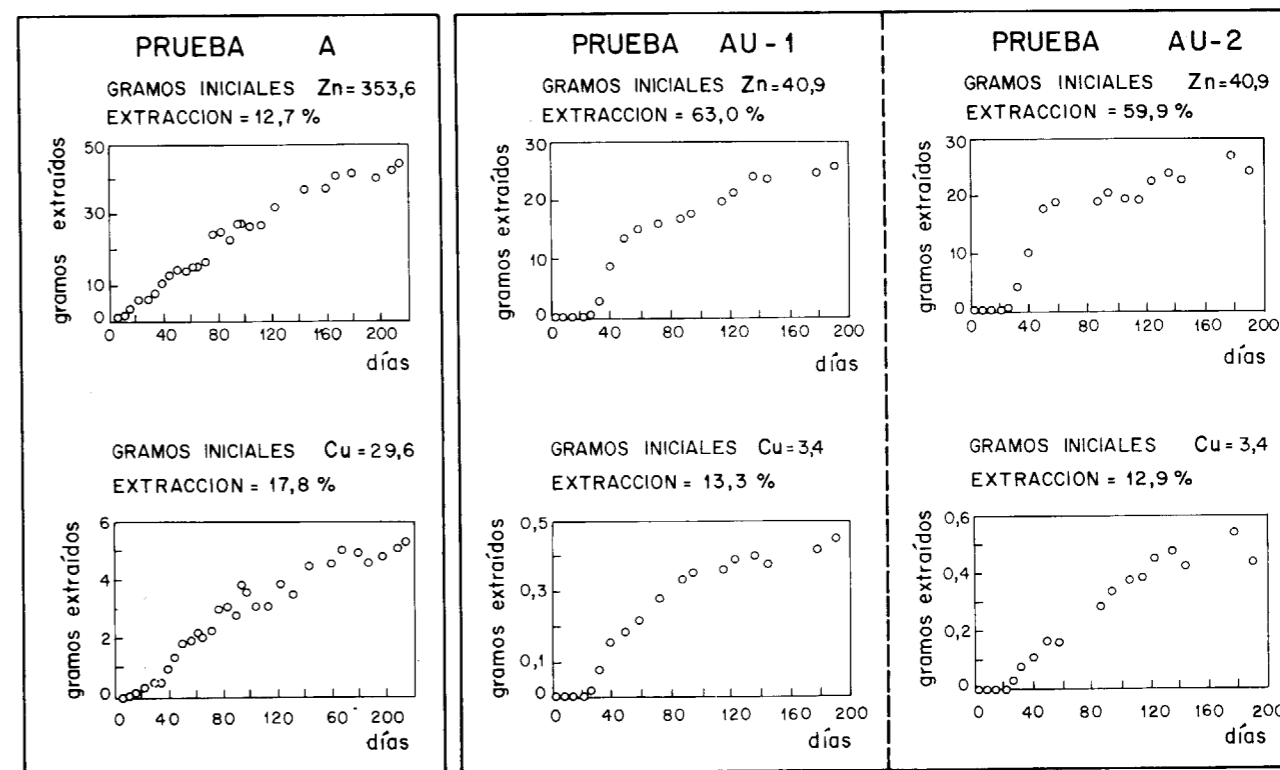


Figura 3.—Resultados de las pruebas de extracción de zinc y cobre (A, AU-1 y AU-2).

5.2. PRECIPITACION DE MINERALES DURANTE LAS PRUEBAS

Dada la complejidad de la mena sujeta a lixiviación, se estimó que, bajo estas condiciones, podrían precipitar un gran número de minerales oxidados (e.g. óxidos, hidróxidos, sulfatos, oxocloruros) de hierro, cobre, plomo y zinc. Ya que la simple inspección al microscopio (óptico o electrónico de barrido: SEM) parecía insuficiente para clasificar el amplio espectro de minerales posibles, se decidió complementar estos estudios con los de difracción de rayos X (DRX). Para ello se utilizó un difractómetro Philips PW 1729 del Departamento de Cristalografía y Mineralogía (UCM). Los difractogramas fueron analizados con el programa POLVO (13), al cual se incorporó una base de datos que incluía los espaciados principales de 276 especies oxidadas y 18 sulfuradas, cuyos valores fueron obtenidos del libro *Powder Diffraction File: Inorganic Phases* (14).

Los resultados del análisis por DRX de los granos de sulfuros atacados mostró dos hechos apa-

rentemente sorprendentes: 1) no se detectó la presencia de minerales del grupo de la jarosita, y 2) el número de especies oxidadas que precipitaron fue relativamente pequeño y no incluía minerales de cobre o plomo.

Las especies detectadas son: gunningita ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$), una variedad sulfurada hexahidratada de zinc ($\text{ZnSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$), rozenita ($\text{FeSO}_4 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$), melanterita ($\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$) y goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) (fig. 4).

La ausencia de minerales del grupo de la jarosita se explica, al menos en parte, por la decisión de no utilizar el medio 9 K durante el proceso de lixiviación. Al contener éste potasio y amonio, la formación de jarosita y amoniojarosita se ve favorecida. Otros componentes de este medio, tales como calcio, magnesio y fosfato también favorecen la precipitación de especies minerales nocivas para el proceso, ya que implican la generación de un espectro mayor de minerales que pueden obstruir e «impermeabilizar» la co-

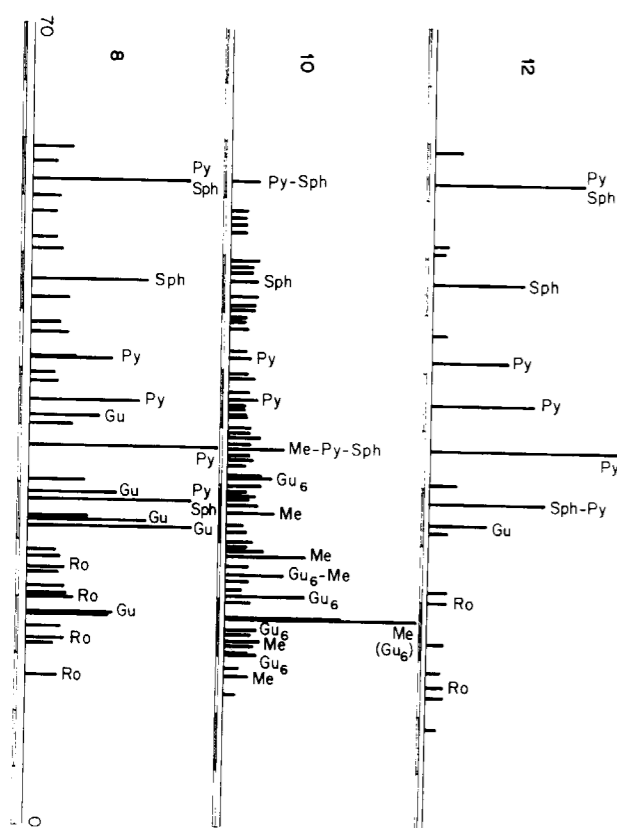
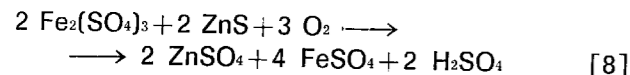


Figura 4.—Diagramas seleccionados del programa POLVO (DRX), muestras 8, 10 y 12. Sólo se han marcado con siglas los peaks principales. Py: pirita; Sph: esfalerita; Gu: gunningita; Gu6: $ZnSO_4 \cdot 6H_2O$; Me: melanterita; Ro: rozenita.

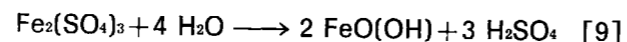
lumna (e. g. yeso), retardando o impidiendo el paso de la solución.

La presencia masiva de gunningita en los precipitados como mineral de neoformación principal no tiene una explicación simple, ya que el sulfato de zinc es una sustancia extraordinariamente soluble. De hecho, el zinc es soluble hasta la altísima concentración de 430 g/l. de agua (15). Bajo un punto de vista estrictamente químico, la oxidación de esfalerita tiene lugar como consecuencia de la formación de sulfato férrico derivado de la oxidación de la pirita (reacciones [5] y [6]):



Esta reacción permitiría explicar en parte la ausencia de sulfato férrico entre los precipitados debido al consumo de éste durante los procesos oxidativos de la esfalerita. Cabe destacar, además, que este proceso también contribuiría a inhibir la precipitación de jarosita por consumo de sulfato férrico (i. e. la reacción [7] se vería inhibida). No obstante, queda por explicar la importante presencia en los precipitados de sulfatos de zinc y sulfatos ferrosos. La respuesta puede encontrarse en la generación de fenómenos de sobresaturación localizados, generados por la evaporación continua de agua de la solución. En este sentido es importante señalar que las muestras estudiadas fueron obtenidas desde las aperturas laterales de control en la columna y de ésta una vez secada para el estudio final. En el caso de las aperturas el fenómeno se explica fácilmente, ya que la tasa de evaporación (y por ende de sobresaturación) en esos sectores era máxima.

En este sentido resulta importante destacar que durante el proceso de lixiviación, en las zonas con fuerte irrigación, el único mineral que precipitó fue goethita ($FeO(OH)$), un mineral que se forma por la hidrólisis del sulfato férrico si la solución está fuertemente diluida (15), otro proceso que conlleva el consumo de sulfato férrico:



De esta manera, pueden establecerse las condiciones fundamentales bajo las cuales precipitaron los sulfatos e hidróxidos:

- 1) Solución altamente diluida: precipitación de goethita por hidrólisis del sulfato férrico. Esta situación se verifica desde comienzo del proceso (2 a 3 días) en las zonas de la columna donde la irrigación es máxima.
- 2) Solución altamente concentrada (fenómenos de sobresaturación): precipitación de sulfatos de zinc y hierro (e. g. gunningita, rozenita, melanterita). Esta situación se verifica después de varias semanas en zonas de máxima sobresaturación por evaporación de la solución (e. g. aperturas laterales) y una vez cesada la irrigación de la columna.

El estudio mineralógico por microscopía electrónica de barrido se llevó a cabo en el Departamento de Biología Vegetal II de la Facultad de Farmacia (UCM), utilizándose un aparato ISI-SX-

25. Esta técnica resultó de gran importancia para estudiar los aspectos morfológicos y texturales de la fase sulfatada de los precipitados, ya que cristales individuales e irregularidades eran sólo visibles por sobre los 2.000 aumentos, requiriéndose de aumentos de 5.000 y mayores para observar con claridad los detalles de éstos.

La precipitación de sulfatos sobre los sulfuros se ha verificado como apilamientos de cristales (fig. 5 A-B), aglomerados pseudorregulares sobre superficies cristalinas (fig. 5 C-D) o como superficies («costras») amorfas (fig. 5 E-F).

Un fenómeno interesante ha sido observado en las superficies sulfatadas: «túneles» o «cavernas» que parecen comunicar el exterior con la superficie sulfurada bajo ataque (fig. 6 A-C). Esto implicaría que la difusión no fue el único mecanismo que permitió la lixiviación de cationes a través de la superficie sulfatada, sino que habría existido una comunicación directa entre la solución y el sustrato sulfurado. Cabe preguntarse si estas texturas no son, en realidad, sino el resultado de ataque bacteriano directo. De hecho, si *T. ferrooxidans* juega un rol decisivo en la formación de minerales sulfatados (12), entonces estas estructuras cavernosas (fig. 6 A-C) pueden ser en consecuencia el resultado directo de la actividad bacteriana.

Un tipo curioso de actividad biológica fue detectado en estrecha relación espacial con las costras de goethita. Sobre éstas se detectó la presencia de hongos, probablemente del grupo *Fungi imperfecti* (fig. 6 D-F). De acuerdo a ROSSI (2), varios hongos de este grupo (e. g. *Pullularia pullulans*, *Rhodotorula glutinis*, *Rhodotorula rubra*) parecen ser compañeros habituales de *T. ferrooxidans*.

6. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación pueden ser agrupados en tres apartados distintos: biológicos, químicos y mineralógicos. Aunque el énfasis de esta investigación ha estado desde su inicio en los aspectos mineralógicos de la biolixiviación de minerales de Aznalcóllar, resulta imposible no referirse a los dos primeros.

6.1. ASPECTOS BIOLÓGICOS

- 1) Partiendo del principio de que si en ambientes naturales favorables *T. ferrooxidans* se desarrolla normalmente sin requerimientos especiales, el medio 9 K fue desechado como nutriente durante las pruebas de biolixiviación. La ausencia del medio 9 K no impidió de manera detectable el mantenimiento y crecimiento de la población de *T. ferrooxidans*.
- 2) Altas tasas de lixiviación de metales parecen, en cambio, haber resultado en decrecimientos importantes de la población de *T. ferrooxidans* (mortandad masiva por incremento rápido de la concentración de metales en la solución?); no obstante, estos períodos de «aparente» inactividad químico-biológica siempre estuvieron seguidos por rápidos incrementos en la extracción de metales (particularmente zinc), de lo que se puede conjeturar que algunos individuos con mayor «adaptabilidad» a medios progresivamente más tóxicos, sobrevivieron y se multiplicaron manteniendo el proceso de lixiviación.
- 3) Aun cuando el material tratado fue previamente esterilizado, dentro de la columna A se desarrollaron poblaciones de hongos restringidas espacialmente a sectores donde había precipitado goethita.

6.2. ASPECTOS QUÍMICOS

- 1) El pH es un factor que varía considerablemente durante el proceso, especialmente durante el comienzo del mismo; una acidulación periódica (cada 24 horas) con ácido sulfúrico diluido resulta indispensable para evitar subidas excesivas del pH que inhiban o impidan totalmente la actividad de *T. ferrooxidans*; a partir de unas nueve semanas las subidas del pH se hacen más pequeñas, llegando a ser nulas hacia unas 17 semanas.
- 2) El pH parece ser una variable de primera importancia en lo que a extracción de zinc se refiere: a tiempos equivalentes las pruebas realizadas a $pH=2,0$ (AU-1 y AU-2) fueron 4-5 veces más eficientes que la realizada a $pH=2,5$ (prueba A).

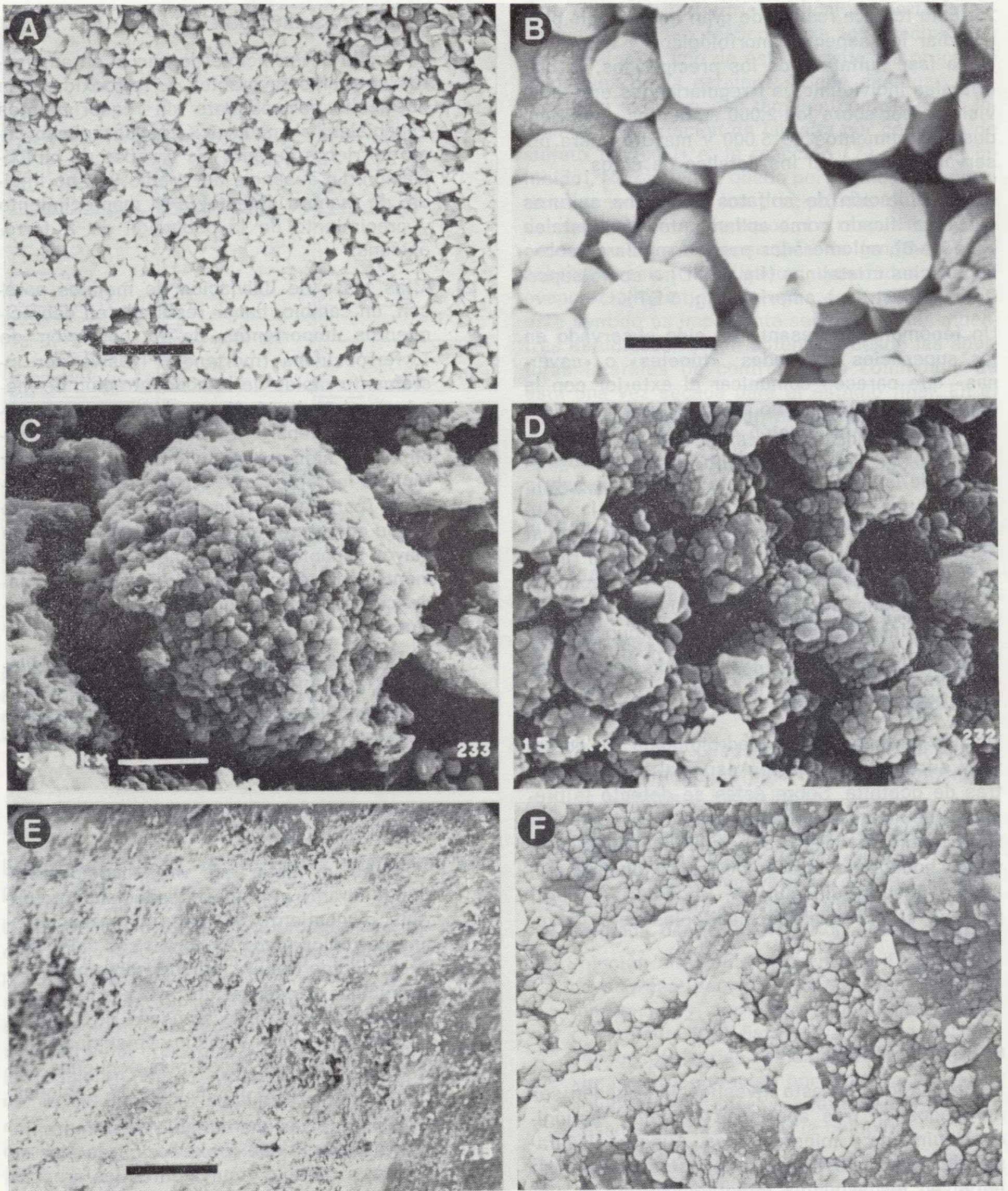


Figura 5.—Fotomicrografías al SEM: precipitación de sulfatos sobre sulfuros. A) Apilamiento de cristales. Prueba A, escala: 10 μm . B) Detalle de la anterior, escala: 1,3 μm . C) Aglomerados pseudoregulares sobre superficies cristalinas (cubo de pirita?). Prueba AU-1, escala: 6,6 μm . D) Detalle de la anterior, escala: 1,3 μm . E) Costras amorfas. Prueba A, escala: 100 μm . F) Detalle de la anterior, escala: 4 μm .

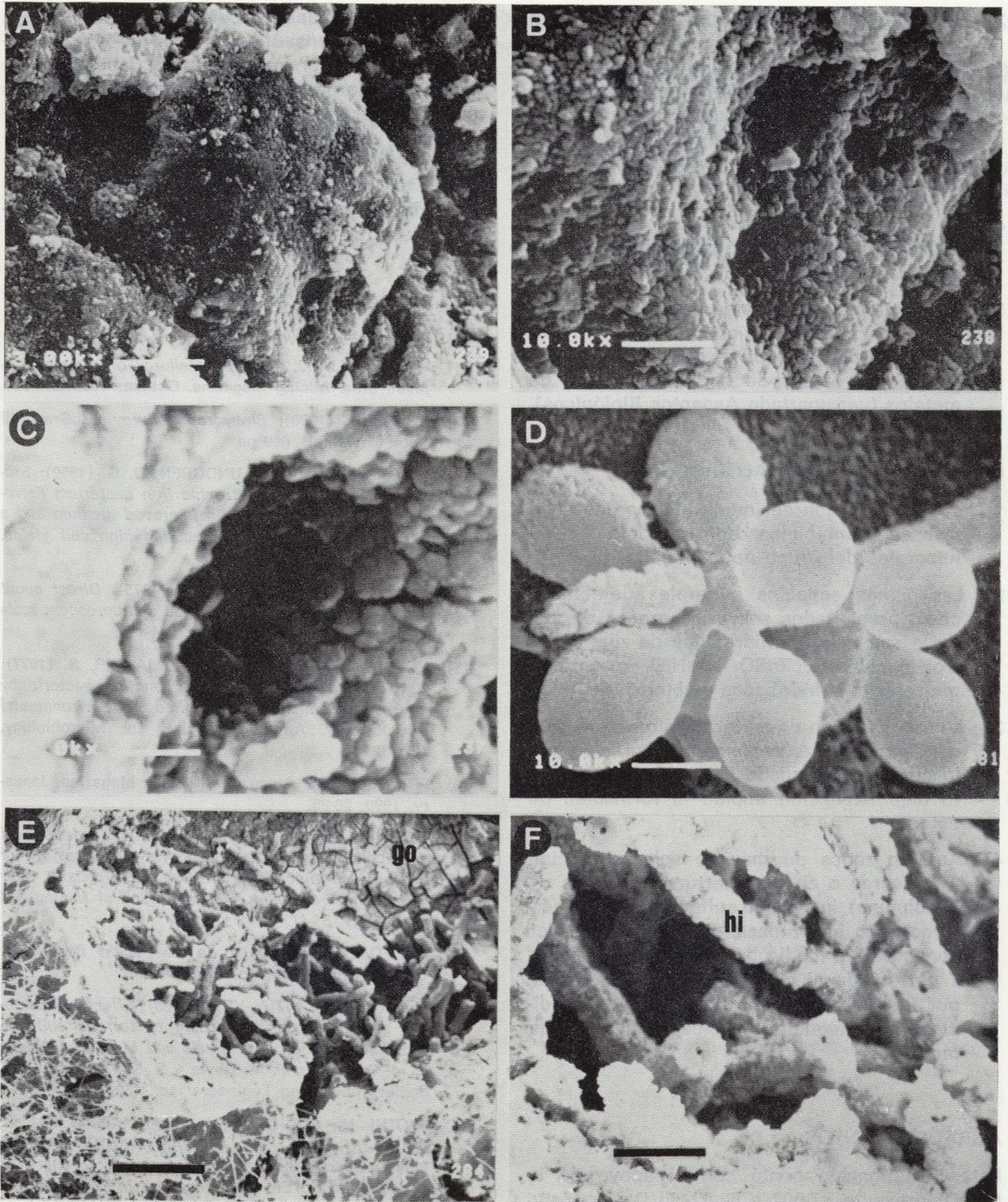


Figura 6.—Fotomicrografías al SEM: actividad química y biológica. A) Estructuras cavernosas en pirita. Prueba AU-1, escala: 6,6 μm . B) Detalle de la anterior, escala: 2 μm . C) Detalle de la anterior, escala: 0,7 μm . D) Conidios (esporas asexuales) de Fungi imperfecti. Prueba A, escala: 2 μm . E) Micelio de Fungi imperfecti sobre goethita (go). Prueba A, escala: 100 μm . F) Detalle de la anterior, hifas (hi), escala: 20 μm .

- 3) La presencia del par esfalerita-pirita genera condiciones galvánicas que hacen que el proceso sea altamente eficiente en lo que a extracción de zinc se refiere; por otra parte, se observó que a mayor extracción de zinc se verifica una menor de cobre, lo que permitiría pensar que una extracción de zinc de forma selectiva podría ser viable.
- 4) La adición de ácido clorhídrico al medio lixiviante (prueba AU-1) no muestra una mayor eficacia en extracción de metales.
- 5) La extracción de metales no es ascendente en forma continua, sino que marcada por una serie de períodos de no extracción seguidos por etapas de rápida lixiviación de metales (ver apartado Aspectos Biológicos).

6.3. ASPECTOS MINERALOGICOS

- 1) La no utilización del medio 9 K parece decisiva en la inhibición de la precipitación de minerales del grupo de la jarosita.
- 2) Las únicas especies minerales detectadas como precipitados sobre los granos de sulfuros son sulfatos hidratados de zinc y hierro: gunningita, $ZnSO_4 \cdot 6 H_2O$, rozenita y melanterita, e hidróxidos de hierro: goethita.
- 3) La precipitación de sulfatos sólo ocurre bajo condiciones de extrema sobresaturación, por lo cual una adecuada irrigación del sustrato bajo lixiviación impide la formación de éstos.
- 4) Aun en zonas de máxima sobresaturación (e.g. cerca o en las aperturas laterales de la columna), la capa de sulfatos presenta perforaciones cavernosas que parecen haber conectado el medio lixiviante (y por ende a *T. ferrooxidans*) con la superficie sulfurada, por lo cual, aun bajo estas extremas condiciones, el ataque químico-bacteriano resulta factible.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación contó con el apoyo de la CICYT, proyecto BT-0024-C02-02. El Dr. H. Maturana (Universidad de La Serena, Chile) colaboró estrechamente con este grupo durante el inicio

de esta investigación, cediendo además la cepa de *T. ferrooxidans* utilizada durante este trabajo. El Dr. J. Oyarzun gestionó y facilitó la estancia de uno de los investigadores del proyecto en la Universidad de La Serena para su entrenamiento en técnicas de biolixiviación. Colaboraron también con investigadores del proyecto las Dras. P. Cubas, C. Pardo (microscopía SEM) y C. de la Rosa (microscopía de epifluorescencia) (Facultad de Farmacia, UCM).

REFERENCIAS

- (1) GRAY, Ph. M. J. (1984): *Metallurgy of complex sulphide ores*. Mining Magazine, October 1984, 315-324.
- (2) ROSSI, G. (1990): *Biohydrometallurgy*. McGraw-Hill Book Co. GmbH, 609 pp.
- (3) SIVERMAN, M. P., y LUNDGREN, D. G. (1959): *Studies on the chemoautotrophic iron bacterium Ferrobacillus ferrooxidans*. I. An improved medium and a harvesting procedure for securing high cell yields. J. Bacteriol., 77: 642.
- (4) DALEY, R. J., y HOBBIIE, J. E. (1975): *Direct count of aquatic bacteria by a modified epifluorescent technique*. Limnol. Oceanogr., 21: 141-145.
- (5) HOBBIIE, J. E.; DALEY, R. J., y JASPER, S. (1977): *Use of nucleopore filters for counting bacteria by fluorescence microscopy*. Applied and Environmental Microbiology. American Society for Microbiology, 1225-1228.
- (6) FOX, K. (1990): *Aznalcollar*. Mining Magazine, January, 1990, 20-25.
- (7) SIERRA, J. (1990): *The massive sulphide deposit of Aznalcollar, Spain, Iberian Pyrite Belt: review of geology and mineralogy*. En: *Sulphide Deposits, their Origin and Processing*. The Institution of Mining and Metallurgy, 34-47.
- (8) CORFO (1986): *Manual de Lixiviación Bacteriana*. CORFO, Chile, Santiago, 62 pp.
- (9) ELZEKY, M., y ATTIA, Y. A. (1989): *Effects of bacterial adaptation on bioleaching of ferrous sulfides*. En: *Biotechnology in Minerals and Metal Processing* (B. J. Schneider, F. M. Doyle y S. K. Kawatra, Eds.). Society of Mining Engineers Inc., 139-149.
- (10) JYOTHI, N.; SUDHA, K. N.; BRAHMAPRAKASH, G. P.; NATARAJAN, K. A., y RAMANANDA RAO, G. (1989): *Electrochemical aspects of bioleaching of mixed sulfides*. En: *Biotechnology in Minerals and Metal Processing* (B. J. Schneider, F. M. Doyle y S. K. Kuwatra, Eds.). Society of Mining Engineers Inc., 9-16.

- (11) HILTUNEN, P.; VUORINEN, A.; REHTIJARVI, P., y TUOVINEN, O. H. (1981): *Bacterial pyrite oxidation: release of iron and scanning electron microscopic observations*. Hydrometallurgy, 7: 147-157.
- (12) IVARSON, K. C. (1973): *Microbiological formation of basic ferric sulfates*. Can. J. Soil Sci., 53: 315-323.
- (13) MARTIN RAMOS, J. D. (1989): *POLVO: Un Programa para la obtención e interpretación de diagramas de*

difracción de Rayos X por el Método de Polvo. Facultad de Ciencias, Universidad de Granada, 24 pp.

- (14) McCLUNE, W. F. (Ed.) (1987): *Powder Diffraction File, Inorganic Phases, Alphabetical Index (Chemical and Mineral Name)*. International Centre for Diffraction Data, USA, 663 pp.
- (15) BLANCHARD, R. (1968): *Interpretation of leached outcrops*. Nevada Bureau of Mines, Bulletin 66, 196 pp.

Original recibido: Octubre de 1991.

Original aceptado: Noviembre de 1991.

La naturaleza del problema de la gestión de sistemas hídricos superficiales y subterráneos.

Por J. TRILLA (*) y J. ESTALRICH (*)

RESUMEN

Las dificultades encontradas en la óptima gestión de un sistema hídrico, tanto superficial como subterráneo, dependen en gran medida de la adecuada representación en forma de funciones objetivo y restricciones de las distintas características del sistema. No todas las técnicas de programación matemática utilizadas a tales fines son capaces de reflejar fielmente y con carácter general la realidad estudiada. De todos modos no es ésta la única razón de dichas dificultades; la propia naturaleza física y dinámica del sistema hídrico impone las suyas propias.

Palabras clave: Sistemas hidrológicos, Embalses superficiales, Acuíferos, Programación matemática, Operación óptima.

ABSTRACT

The difficulties found in the way of the optimal operation of a hydrologic system, surface and/or subterranean, depend on the correct presentation of the characteristics of the system in the form of objective functions and constraints. No all of the techniques from the area of mathematical programming, used with this purpose, are able to reflect correctly the system at hand. Moreover, the physical and dynamic nature of the hydrologic system adds its own difficulties.

Key words: Hydrologic systems, Surface reservoirs, Aquifers, Mathematical programming, Optimal operation.

1. INTRODUCCION

La mayor parte de las aguas dedicadas a diversos usos, industriales, urbanos o agrícolas, es regulada mediante embalses superficiales o captada de acuíferos. Dado el interés económico de esta actividad, no es de extrañar que la óptima gestión de estos embalses o acuíferos, entendidos como sistemas, haya sido objeto de distinta atención por diversos estudios, aunque, eso sí, repartida desigualmente para ambos tipos de sistemas; la gestión de embalses ha recibido con mucho mayor atención que la de acuíferos. Varias razones podrían aducirse para justificar este hecho. En primer lugar encontramos que en el abastecimiento a muchos centros de consumo predomina el agua regulada mediante embalses

superficiales. Asimismo, dichos embalses cumplen muchas veces fines adicionales como centro productor de energía eléctrica, para protección de avenidas, regular la calidad del agua o con funciones recreativas, entre otras. Y, finalmente, el hecho de que sus costes de construcción son muchísimo más elevados que los de un sistema de captación de aguas subterráneas rentabiliza un mayor énfasis en su gestión.

Esta tendencia en la diferente atención dada a la gestión de embalses sobre la de acuíferos, puede verse alterada en los próximos años. El creciente consumo de agua observado en los últimos años, la limitación de las obras ya existentes destinadas a la regulación de los recursos superficiales y los elevados costes de otras nuevas hacen prever que la gestión de acuíferos, tanto de forma individualizada como conjunta con embalses, puede adquirir una progresiva impor-

(*) Unidad de Geodinámica Externa e Hidrogeología. Departamento de Geología, Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Bellaterra (Barcelona).

tancia en el abastecimiento a centros de consumo.

El desarrollo de los distintos modelos de gestión realizados hasta ahora, aplicados a uno u otro sistema, responden tanto a la dinámica hídrica de cada uno de ellos, como a la conceptualización del problema hecha por el analista. Se ha criticado (KLEMES, 1986) que muchas veces el objeto de estudio en hidrogeología se ha reducido más a la aplicación y análisis de un determinado modelo matemático que a la propia naturaleza hidrológica del problema en sí mismo. Es por ello que en este trabajo pretendemos centrarnos esencialmente en el análisis de la estructura física y dinámica del problema de la gestión de un sistema hídrico, a fin de resaltar aquellas dificultades que le son propias y no particulares de cada modelo o técnica de solución. Supondremos, asimismo, que las distintas obras de regulación y captación están ya realizadas, es decir, no incluiremos el análisis del problema de expansión de capacidad.

2. FORMULACION GENERAL DEL PROBLEMA

Entendemos, en general, por problema de gestión de un sistema hídrico el encontrar, mediante el uso de alguna técnica matemática adecuada, una serie de normas o indicaciones destinadas al óptimo aprovechamiento de ese sistema. De este modo queremos distinguir claramente entre gestión y simulación. Es bien sabido que el procedimiento de simulación sólo nos sirve para verificar el comportamiento de un sistema ante un grupo de normas de operación propuestas y difícilmente permite obtener las normas que provocan la óptima operación, siempre deseada, de un sistema (YEH, 1985; GORELICK, 1983).

Así, y dada esta definición, no nos ha de extrañar que a lo largo de las últimas décadas la gestión de recursos hídricos, siguiendo el camino iniciado por MAASS et al. (1962), se haya beneficiado de los avances en el ámbito de control de operaciones o de ingeniería de sistemas (BURAS, 1985; HIRSCH et al., 1977; HELWEG et al., 1982). Las técnicas de este ámbito son especialmente indicadas para nuestro problema. Es por ello que, y siguiendo la terminología propia de control de operaciones, podemos decir que la óptima opera-

ción conjunta de un sistema compuesto por un total de NE embalses y/o acuíferos pretende, sobre un período de tiempo NT (número de días), obtener una secuencia π de vectores de decisión λ ($\pi = \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k, \dots, \lambda_{NT}$), de tal modo que maximicen una función separable del tipo siguiente:

$$\sum_{k=1}^{NT} g_k(s_k, \lambda_k, q_k) \quad (1)$$

Donde:

$g_k(s_k, \lambda_k, q_k)$: es el beneficio asociado con el vector de decisiones λ , tomado cuando el conjunto de embalses y acuíferos se presentan en el estado s y reciben unas entradas q en el período k .

λ_k : representa el vector de decisiones λ_k^i ($i=1, \dots, NE$), tomadas en el tiempo k para cada uno de los NE embalses y/o acuíferos que componen el sistema.

s_k : es el vector de variables de estado, s_k^i , que caracterizan a esos mismos NE embalses y/o acuíferos.

q_k : vector de valores de las entradas de agua q_k^i a cada uno de esos NE componentes.

Ocurre que la maximización de (1) está sujeta a una serie de restricciones o condicionantes que describen el conjunto de características dinámicas, físicas, contractuales y legales propias de cada sistema en cuestión y que nosotros representaremos en general como:

$$h_k(s_k, \lambda_k) \leq 0 \quad \forall k \quad (2)$$

Ante este planteamiento debemos observar que existen unas dificultades de tipo físico innatas al problema y de difícil solución. Resulta evidente, en una situación real, que el conocimiento de cada uno de los componentes del vector q_k , es decir, los volúmenes de entrada a cada uno de los acuíferos y/o embalses, para todo el período NT resulta imposible. Es por ello que ha de considerarse que los caudales de entradas forman un proceso estocástico. Como consecuencia se produce que cada decisión λ_k^i lleve asociada una cierta incertidumbre no deseada. La única forma de solucionar este problema sería el de poder contar con previsiones fiables de

cada una de las entradas a largo plazo; algo realmente difícil de conseguir. Es por ello que el tratamiento de esta estocasticidad se mantendrá como una dificultad intrínseca del problema de la gestión de sistemas hídricos. Asimismo, las decisiones, generalmente expresadas en último término en volúmenes de agua a proporcionar por el sistema físico, están muchas veces condicionadas por unas demandas que son igualmente estocásticas. De todos modos, y dada la escasa dispersión, por lo general, de éstas en el tiempo, no representa una dificultad de la misma magnitud como la anterior.

Por otra parte se presentan otra serie de dificultades de tipo computacional. Varias técnicas de control de operaciones pueden ser empleadas en la solución de este sistema (1)-(2). Programación Lineal (P. L.), Dinámica (P. D.) y No-Lineal (P. N. L.) se cuentan entre las más frecuentes. No podemos decir que exista una técnica predominante, pues cada una tiene sus propias ventajas e inconvenientes. Por ello, la elección de una de ellas depende en gran medida de las características físicas y dinámicas del sistema, embalse o acuífero, a tratar. Sin embargo, sí hay un hecho, común en muchos modelos de gestión que se basan en alguna técnica de control de operaciones, especialmente P. L. y P. D., que merece ser destacado. Muchas de estas aplicaciones requieren una discretización del problema a tratar. Como consecuencia se produce un elevado número de variables y ecuaciones, hasta el punto de irresolubilidad con los medios informáticos actuales. La obvia solución para evitar este problema de tipo computacional es evitar esta discretización. Sin embargo, esto no resulta tan sencillo a la práctica. La naturaleza estocástica del problema antes mencionada limita el número de técnicas susceptibles de aplicación. Además la naturaleza no-lineal natural del problema impone sus dificultades adicionales a la hora de plantear el modelo de gestión. Obviamente, la solución de esta dificultad es técnica, no intrínseca al problema como la estocasticidad de entradas. Por ello, cabe esperar que los desarrollos en el área de control de operaciones de técnicas capaces de considerar de forma continua un sistema estocástico y no-lineal redundará en una mejor gestión de los sistemas hídricos.

A todo este grupo de particularidades, comu-

nes tanto a embalses como acuíferos, cabe añadir aquellas propias de cada uno de estos sistemas y que merecen ser tratadas separadamente.

3. GESTION DE EMBALSES

Consideraremos el caso de que nuestro sistema hídrico está compuesto exclusivamente por un solo embalse. La presentación de este caso tiene especial importancia, pues presenta particularidades comunes tanto para el caso de gestión conjunta de varios embalses como para la gestión de acuíferos. Así, pues, la gestión de un embalse requerirá la transformación de nuestro problema original (1)-(2) a este otro:

$$\max_{\lambda_k} \sum_{k=1}^{NT} g_k(s_k, \lambda_k, q_k) \quad (3)$$

Donde:

$g_k(s_k, \lambda_k, q_k)$: es el beneficio asociado con la decisión de una suelta de agua λ , tomada cuando el embalse presenta un volumen almacenado s y recibe unas entradas q en el período k .

Obviamente, esta función objetivo estará sujeta a una serie de restricciones que podemos clasificar de dos tipos. Por un lado en cualquier planteamiento del problema de la gestión de un embalse, independientemente del tipo de técnica de solución, debe hacerse referencia explícita a la ecuación de continuidad o de conservación de masa que dirige la dinámica de este sistema.

$$s_{k+1} = s_k + q_k - \lambda_k - w_k \quad \forall k \quad (4)$$

Donde w_k representa el conjunto de pérdidas (evaporación, infiltración, etc.) en el embalse. Por lo general estas pérdidas son función del estado del embalse, $w_k(s)$, entre otros aspectos.

Y, por otro lado, deben considerarse aquellas restricciones que responden a las particularidades de cada embalse como: máximo caudal admisible por las turbinas, caudal mínimo contratado, producción mínima de electricidad, etc.

$$h_k(s_k, \lambda_k) \leq 0 \quad \forall k \quad (5)$$

A partir de este planteamiento, y a fin de salvar las dificultades físicas y computaciones generales antes mencionadas es común aplicar un procedimiento compuesto de dos etapas que denominaremos como estratégica y táctica, respectivamente.

a) La etapa estratégica

Esta primera etapa procura establecer una serie de normas u objetivos a alcanzar a lo largo de un cierto período, generalmente un mes, teniendo en cuenta la estocasticidad de las entradas. Matemáticamente, puede quedar formulada como sigue:

$$\max_{\Lambda_n} E\left(\sum_{n=1}^N R_n(S_n, \Lambda_n, Q_n, T_n)\right) \quad (6)$$

donde $R_n(S_n, A_n, Q_n, T_n)$ es el beneficio asociado a la decisión de soltar un volumen total de agua Λ en T días cuando al principio del período n el embalse contiene un volumen de agua S , y siendo E la esperanza matemática.

Asimismo, podemos establecer unas restricciones a nivel del período estratégico similares a las expresadas por (4) y (5):

$$S_{n+1} = S_n + Q_n - \Lambda_n - W_n \quad \forall n \quad (7)$$

$$H_n(S_n, \Lambda_n) \leq 0 \quad \forall n \quad (8)$$

Donde W_n representa las pérdidas totales durante el período n .

La solución del sistema de ecuaciones (6)-(8) expresa, por lo general, el volumen de agua a soltar en el embalse durante un determinado período estratégico. El valor de este volumen entra a formar parte, bien de la función objetivo, bien de alguna restricción, del problema táctico que presentamos a continuación.

b) La etapa táctica

Esta segunda etapa pretende la determinación de las normas de funcionamiento del embalse a nivel diario, e incluso horario, teniendo en cuen-

ta los resultados de la solución de la etapa estratégica. Matemáticamente, esta etapa puede expresarse del modo siguiente:

$$\max_{\lambda_t} \sum_{t=1}^{T_n} g_t(s_t, \lambda_t, q_t) \quad (9)$$

con las restricciones:

$$s_{t+1} = s_t + q_t - \lambda_t - w_t \quad \forall t = 1, T_n \quad (10)$$

$$h_t(s_t, \lambda_t) \leq 0 \quad \forall t = 1, T_n \quad (11)$$

donde

$$s_1 = S_n, S_{T_n+1} = S_{n+1} \text{ y } \sum_{n=1}^N T_n = NT \quad (12)$$

Como principal característica de este problema táctico, destaca el hecho de que los caudales q_t durante el período T_n se consideran comúnmente como determinísticos y se obtienen a partir de modelos hidrológicos.

Asimismo, hay que mencionar que es frecuente que la toma de una decisión estratégica o táctica se vea alterada o modificada a medida que se obtienen conocimientos más fiables del funcionamiento hidrológico superficial de la cuenca. En este caso se acostumbra a hablar, equivalentemente a las etapas estratégica y táctica, de operaciones a largo y corto plazo.

Este tipo de procedimiento basado en las dos etapas que llevamos mencionando, si bien resuelve parcialmente algunos de los problemas generales de tipo computacional antes indicados, está aún limitado por los de tipo físico. Además, con esta descomposición en dos etapas se introduce una cierta deformación del problema original. Así, obsérvese que el modo en que se procede con el planteamiento de los sistemas de ecuaciones (6)-(8) el valor de Q_n solamente representa un volumen de agua total en un período de tiempo sin ninguna atención a su repartición a lo largo del tiempo T_n . Esto hace que haya una cierta pérdida de información a la hora de tomar una decisión estratégica. Por ejemplo, sea el caso de un embalse en el cual a lo largo de un mes se recibe un determinado volumen total de agua con una distribución muy condicionada por la presencia de un marcado pico del hidrograma,

como la que se puede ver en la figura 1. Sea ahora el caso de este mismo embalse recibiendo el mismo volumen total de agua, pero dispuesto de forma totalmente distinta, como se ve en la figura 2. Pues bien, resulta, según lo presentado anteriormente, que las decisiones estratégicas para ambas situaciones son idénticas, cuando no es difícil de presumir que sería deseable que este tipo de decisión reflejase de algún modo las diferencias entre ambos hidrogramas. Sin embargo, dado el planteamiento matemático, en la toma de una decisión de tipo estratégica difícilmente se puede hacer intervenir la distribución diaria de caudales. Por otra parte esta misma pérdida de información en cuanto a la distribución de caudales provoca que muchas restricciones de tipo físico con las que el operador del embalse se encuentra diariamente no puedan ser consideradas en la etapa estratégica. Esto hace que muchas veces para paliar, al menos parcialmente, este aspecto algunos planteamientos (MARIÑO and LOAICIGA, 1986; GRYGIER and STEDINGER, 1985; SIMONOVIC and ORLOB, 1984) incluyen dentro del grupo de restricciones estratégicas de la ecuación (8), alguna ecuación que intente reflejar las necesidades diarias del operador. Un camino para la solución de este problema global podría venir con alguna redefinición conjunta del planteamiento matemático (6)-(11), como la realizada por ESTALRICH (1989) que incide sobre la representatividad de Q_n en el período n .

Varias y diferentes técnicas ya mencionadas del área de control de operaciones, (P. L.), (P. D.) y

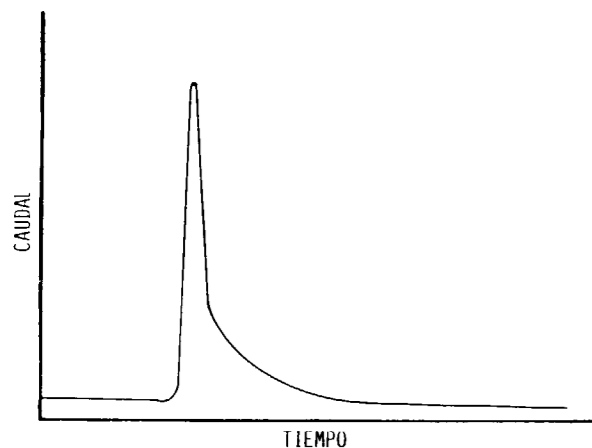


Figura 1.—Hidrograma con un sólo episodio lluvioso.

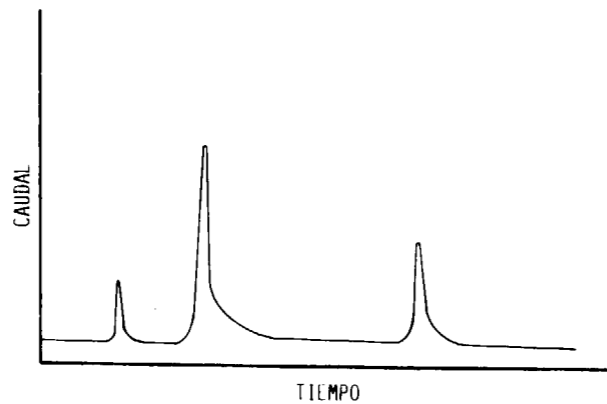


Figura 2.—Hidrograma con varios episodios lluviosos.

(P. N. L.) han sido aplicadas a cada uno de los problemas táctico y estratégico. El lector puede referirse a YEH (1985) o ROSENTHAL (1980) para una revisión de las más utilizadas. Destacar, simplemente, que P. D. (BELLMAN, 1957), en su versión estocástica, ha tenido, dadas sus idóneas características para tratar problemas estocásticos con funciones objetivo separables e incluso no-lineales, un amplio uso en la gestión de embalses (YAKOWITZ, 1982; YEH, 1985), desde su introducción por BURAS (1963).

4. GESTION DE ACUIFEROS

En lo que respecta a la gestión de un acuífero como sistema, el planteamiento general dado por (1)-(2) es igualmente aplicable. Sin embargo, a un nivel más particular podemos establecer dos tipos de modelos de gestión atendiendo a otros tantos tipos de dinámica. El primero de ellos es considerar al acuífero como un embalse subterráneo. Es decir, podemos establecer que la operación óptima de un acuífero requiere obtener una secuencia de decisiones que maximicen una ecuación similar a (1):

$$\max_{\gamma_k} \sum_{k=1}^{NT} f_k(v_k, \gamma_k, r_k) \quad (13)$$

donde $f_k(v_k, \gamma_k, r_k)$ es el beneficio generado por un volumen de extracción γ , realizada cuando el

acuífero presenta un volumen almacenado v y recibe una recarga r en el período k .

Asimismo, la optimización de (13) está también sujeta a las restricciones impuestas por la ecuación de conservación de masa del estilo de la de los embalses superficiales y las particulares del sistema:

$$v_{k+1} = v_k + r_k - \gamma_k \quad \forall k \quad (14)$$

$$H_k(v_k, \gamma_k) \leq 0 \quad \forall k \quad (15)$$

Ante este planteamiento las dificultades, procedimientos y técnicas de solución aplicables al caso de embalses son extensibles a los acuíferos. Sin embargo, a todo ello hay que añadir que las entradas al sistema acuífero resultan más difíciles de determinar que las entradas a un embalse, por propias dificultades técnicas de medida.

El otro tipo de planteamiento está basado en la consideración del acuífero como tal y controlado por las ecuaciones de flujo propias. Bajo estas condiciones la gestión de un acuífero puede expresarse como:

$$\max_{\beta_k} \sum_{k=1}^{NT} f_k(\mathbf{h}_k, \beta_k, \epsilon_k) \quad (16)$$

donde $f_k(\mathbf{h}_k, \beta_k, \epsilon_k)$ es el beneficio asociado a un régimen β de extracción y/o recarga en un total de NX puntos, ($\beta^l_k; l=1, \dots, NX$), cuando los niveles piezométricos, en los NC puntos de control, viene dada por \mathbf{h} y se produce una recarga en NR puntos dada por ϵ en el tiempo k .

Por supuesto (16) está sujeta por una parte a las restricciones propias del acuífero estudiado: caudal máximo de extracción, nivel máximo de descenso, etc.

$$h_k(\mathbf{h}_k, \beta_k) \leq 0 \quad \forall k \quad (17)$$

Y, por otra parte, por las ecuaciones clásicas que rigen la dinámica subterránea y que depen-

den del tipo, confinado o libre, del acuífero. Para el caso más simple de un acuífero confinado:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) \pm \sum_{l=1}^{NX} \beta^l \delta(x, y) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (18)$$

donde, como es bien sabido, T_{xx}, T_{yy} representan la transmisividad en la dirección x e y , respectivamente, S es el coeficiente de almacenamiento y $\delta(x, y)$ es la delta de Dirac.

Para la resolución de este último planteamiento dos modelos parecen ser los más adelantados (GORELICK, 1983). Uno es el uso de las llamadas funciones tecnológicas o de respuesta que nos relacionan, tanto para acuíferos confinados (MADDOCK, 1972) como libres (MADDOCK, 1974), las variaciones de nivel en determinados puntos del acuífero con las extracciones o recargas. Otro se basa en la aproximación mediante métodos numéricos, generalmente diferencias finitas, de la ecuación (18) (AGUADO and REMSON, 1974). Esto permite obtener, por lo general, un sistema que tiende a ser resuelto mediante P.L. De todos modos ambos procedimientos presentan el inconveniente de que no pueden considerar intrínsecamente la estocasticidad de las entradas. No tenemos conocimiento de que se hayan realizado intentos de formulación que consideren de forma intrínseca tanto la dinámica propia del acuífero como la estocasticidad de las entradas, lo que es un tema de estudio a considerar.

5. CONCLUSIONES

De todo lo presentado anteriormente, más que conclusiones propiamente dichas cabe resaltar aquellos aspectos más generales que condicionan la elaboración de modelos de gestión de embalses y/o acuíferos:

— Dos son las grandes dificultades de la gestión de sistemas hídricos. Unas, de tipo físico, innatas a la naturaleza estocástica del problema a tratar. Otras, de tipo computacional, derivadas de las técnicas de programación matemática más utilizadas. La reciente

aparición de técnicas de programación matemática estocástica abre amplias posibilidades en el aliviamiento de esta última dificultad.

- La división de la gestión de sistemas hídricos en dos etapas, estratégica y táctica, opina que introduce una deformación de la realidad por cuanto no permite una fidedigna representación de las necesidades diarias del operador del embalse en el proceso de planificación.
- El planteamiento de la gestión de sistemas hídricos subterráneos a partir de las ecuaciones clásicas que controlan la dinámica del flujo, presenta graves dificultades a la hora de considerar la estocasticidad del flujo de entrada a estos sistemas; lo que constituye tema susceptible de estudio y desarrollo.

REFERENCIAS

- AGUADO, E., and I. REMSON (1974): *Groundwater hydraulics in aquifer management*. J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 100(HY1), 103-118.
- BELLMAN, R. (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.
- BURAS, N. (1985): *An application of mathematical programming in planning surface water storage*. Water Resour. Bull., 21(6), 1013-1020.
- ESTALRICH LOPEZ, J. (1989): *Short-term operation of surface reservoirs within long-term goals*. Ph. D. dissertation, Dpt. of Hydrology and Water Resources, Univ. of Arizona, Tucson, AZ.
- GORELICK, S. M. (1983): *A review of distributed parameter*

groundwater management modeling methods. Water Resour. Res., 19(2), 305-319.

GRYGIER, J. C., and STEDINGER, J. R. (1985): *Algorithms for optimizing hydropower system operation*. Water Resour. Res., 21(1), 1-10.

HELWEG, D. J.; HINKS, R. W., and FORD, D. T. (1982): *Reservoir systems operation*. J. Water Resour. Plann. Manage. Div. Am. Soc. Civ. Eng., 108, 169-179.

HIRSCH, R. M.; COHON, J. L., and REVELLE, C. S. (1977): *Gains from joint operation of multiple reservoir systems*. Water Resour. Res., 13(2), 239-245.

KLEMES, V. (1986): *Dilettantism in hydrology: transition or destiny?* Water Resour. Res., 22(9), 177S-188S.

MAAS, A.; HUFCHMIDT, M. M.; DORFMAN, R.; THOMAS, H. A., Jr.; MARGLIN, S. A., and FAIR, G. M. (1962): *Design of Water Resource Systems*. Harvard University Press. Cambridge, Mass.

MADDOCK, T. III (1972): *Algebraic technological function from a simulation model*. Water Resour. Res., 8(1), 129-134.

MADDOCK, T. III (1974): *Non-linear technological functions aquifers whose transmissivities vary with drawdown*. Water Resour. Res., 10(4), 877-881.

MARIÑO, M. A., and LOAICIGA, H. A. (1985): *Quadratic model for multireservoir management. Application to the Central Valley Project*. Water Resour. Res., 21(5), 631-641.

ROSENTHAL, R. E. (1980): *The status of optimization models for the operation of multireservoir systems with stochastic inflows and nonseparable benefits*. Res. Rep., 75. Tenn. Water Resour. Res. Cent.

SIMONOVIC, S. P., and ORLOB, G. T. (1984): *Risk-reliability programming for optimal water quality control*. Water Resour. Res., 20(6), 639-646.

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

YEH, W. W.-G. (1985): *Reservoir management and operations models: a state-of-the-art review*. Water Resour. Res., 21(2), 1797-1818.

Original recibido: Octubre de 1990.
Original aceptado: Junio de 1991.

Variación de la piezometría y el caudal en cuatro explotaciones de aguas subterráneas en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid.

Por J. G. YELAMOS (*) y F. I. VILLARROYA GIL (**)

RESUMEN

Se analiza con detalle la evolución del caudal y del nivel piezométrico en cuatro explotaciones de aguas subterráneas en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid, en las que se dispone de medidas periódicas de alguna de las dos variables durante al menos seis años. En ninguna de las explotaciones se aprecian síntomas de recuperación: caudales y niveles piezométricos disminuyen continuamente, o bien se estabilizan; en este segundo caso siempre con valores de caudal muy inferiores a los obtenidos en los aforos iniciales.

Las variaciones de piezometría y caudal aparecen siempre controladas principalmente por el régimen de explotación. Parece posible que en los cauces más próximos a los campos de pozos se ha producido un cambio en el sentido del flujo pasando de ser ríos ganadores a perdedores.

Palabras clave: Hidrogeología, Acuífero detrítico de Madrid, Caudal, Nivel piezométrico.

ABSTRACT

The paper analyses in detail the evolution of pumping rates and piezometric levels in four well fields pumping groundwater from the detritic Tertiary aquifer of Madrid. We have periodic measurements of some of these two variables for minimum of six years.

Recovery symptoms are not observed in any well field. Pumping rates and piezometric levels decrease continuously or are stabilized, but in this case, these new pumping rates are always smaller than the initial ones.

The piezometric levels variations and pumping rates seem to be controlled by the regime of exploitation. It seems probable that in the streams nearest to the pumping wells fields is where the change in direction of flow has occurred. Some of them are losing streams in a part of their course at present.

Key Words: Hydrogeology, Detritic aquifer of Madrid, Piezometric levels, Extraction rates.

1. INTRODUCCION

El denominado acuífero del Terciario detrítico de Madrid (o sistema acuífero núm. 03-05, según la reciente nomenclatura adoptada en SGOP-ITGE, 1989) ocupa una superficie de más de 6.000 kilómetros cuadrados dentro de la cuenca

sedimentaria de Madrid; su límite septentrional lo constituyen las rocas ígneas y metamórficas del Sistema Central; por el S y E los materiales yesíferos del centro de la Cuenca, mientras que su zona SO queda limitada por los terrenos ígneos y metamórficos de los Montes de Toledo.

En la década de los sesenta se inició la explotación mediante pozos perforados, que creció con un ritmo acelerado de forma que, en el decenio 1970-80, se perforaron de 1.500 a 2.000 pozos profundos, de los cuales las tres cuartas partes se

(*) Area de Geodinámica. Dpto. de Química Agrícola, Geología y Geoquímica. Facultad de Ciencias. Univ. Autónoma. 28049 Madrid.

(**) Dpto. de Geodinámica. Facultad de C. Geológicas. Univ. Complutense. 28040 Madrid.

ubicar en el alfoz de la capital (cfr. OCTAVIO DE TOLEDO y LOPEZ CAMACHO, 1980). La explotación actual del terciario detrítico dentro de la Comunidad de Madrid se estima en unos 100 hectómetros cúbicos por año (LLAMAS, 1986), lo que supone del orden de un 20 por 100 del volumen que anualmente suministra el Canal de Isabel II a partir de su red de embalses superficiales.

A la vez que ha aumentado la explotación del acuífero detrítico de Madrid, también ha tenido lugar un notable crecimiento en el número de informes, publicaciones, estudios, etc., sobre éste, de manera que sólo en la década de los setenta el número de documentos fue más del doble que toda la documentación de los años anteriores (cfr. FERNANDEZ URIA y LLAMAS, 1983). Sin embargo, a pesar del creciente interés sobre este acuífero, son escasos los estudios que analizan con detalle la evolución de la piezometría y caudal frente a su explotación.

En el marco de un convenio de investigación establecido entre el Canal de Isabel II y el Departamento de Geodinámica de la Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid, los autores del presente artículo elaboraron dos informes en los que se recopilaron y analizaron los datos históricos de piezometría y caudal de las principales explotaciones, así como de las distintas redes de control piezométrico sobre el acuífero del Terciario detrítico de Madrid. Este trabajo recoge, en parte, los resultados a los que se han llegado en tales estudios, y se han ampliado recabando datos de otras áreas.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ACUIFERO DETRITICO DE MADRID

Desde mediados de la década de los setenta todos los estudios sobre el acuífero del Terciario detrítico de Madrid coinciden en considerarlo como un único sistema acuífero de carácter libre, muy heterogéneo y anisótropo, y de gran espesor, constituido por lentejones arenosos inmersos en una matriz arcillosa o areno-arcillosa que actúa como semipermeable. Como modelo conceptual de flujo se admiten las tesis de HUBBERT (1940), de manera que en las zonas de interfluvio las equipotenciales disminuyen de valor al

aumentar la profundidad, mientras que en las proximidades a los cauces de los ríos es al contrario; de esta forma pueden existir sondeos surgentes sin necesidad de recurrir a capas impermeables confinantes. También se admite el esquema de TOTH (1963), que supone la existencia de flujos locales, intermedios y regionales, así como zonas de estancamiento. Se considera que la recarga es a partir de la infiltración eficaz de la lluvia sobre toda la superficie del acuífero, mientras que la descarga se centra en los cauces de los ríos principales. La recarga lateral por los límites del sistema se supone despreciable. Las descargas por evapotranspiración, arroyos efímeros y manantiales se consideran de escasa importancia cuantitativa.

Estas ideas fueron esbozadas en el informe SGOP-CAT (1973), ampliadas en LLAMAS y LOPEZ VERA (1975), y analizadas en detalle para cada una de las cinco subcuencas en las tesis doctorales de LOPEZ VERA (1975), MARTINEZ ALFARO (1977), REBOLLO (1977), VILLARROYA (1977) y SASTRE (1978).

Posteriormente, estudios sobre el acuífero del Terciario detrítico de Madrid en base a hidroquímica convencional [RUBIO (1984) y FERNANDEZ URIA (1984)], hidroquímica isotópica (HERRAEZ, 1983), así como modelos digitales de flujo [LOPEZ-CAMACHO (1977), MARTINEZ ALFARO (1982), IGME (1982)] y de transporte de solutos [LLAMAS y MARTINEZ ALFARO (1980)] han corroborado las hipótesis anteriores sobre el funcionamiento hidráulico de dicho acuífero, o al menos no han rechazado tales supuestos.

La permeabilidad del acuífero detrítico de Madrid es baja, con valores medios del orden de 0.25 m/día (OCTAVIO DE TOLEDO y LOPEZ CAMACHO, 1980). Las transmisividades oscilan generalmente entre 1 y 200 m²/día (IGME-DPM, 1981) para los primeros 200-400 m. de espesor. La anisotropía en los distintos modelos casi siempre se considera igual a 100 (LLAMAS, 1986).

3. ANTECEDENTES

La red de control piezométrico más extensa es la iniciada por el IGME (actual ITGE) en 1977. El número de puntos de control es variable, entre

75 y 125, y la frecuencia tan sólo es bimensual; en la mayoría de los piezómetros no se aprecian variaciones significativas de nivel, en la quinta parte aparece una tendencia al descenso por su proximidad a zonas con explotaciones, mientras que los situados en el área de Parla-Móstoles-Fuenlabrada experimentan ascenso debido al cese de bombeos (cfr. IGME, 1984; IGME, 1986).

En el área definida por esas tres ciudades-dormitorio el SGOP mantiene otra red de control o bien recopila las medidas que efectúan los ayuntamientos; en conjunto se controlan 28 sondeos, las medidas suelen ser mensuales, y también se manifiestan síntomas de recuperación (OCTAVIO DE TOLEDO, 1986).

Igualmente el SGOP mantuvo una red de control piezométrico dentro del término municipal de Madrid, en diez pozos someros (profundidad menor de 30 m.), así como una red de control de caudal en media docena de manantiales; las medidas fueron mensuales y tan sólo durante un año. A partir de los resultados de esta red, LOPEZ CAMACHO et al. (1986) indican que en los niveles piezométricos se aprecia el efecto de las lluvias de finales de otoño, invierno y primavera, mientras que los caudales reproducen de forma amortiguada la variación de las precipitaciones.

En sus respectivas tesis doctorales, LOPEZ VERA (1975), MARTINEZ ALFARO (1977), REBOLLO (1977) y VILLARROYA (1977) realizaron medidas sistemáticas de nivel en unos pocos piezómetros, durante 12-18 meses, con frecuencia mensual o quincenal. La mayor parte de los datos están recogidos en LOPEZ VERA, 1979).

Por último, respecto a la variación temporal de caudales en pozos perforados, OCTAVIO DE TOLEDO (1986) presenta gráficos de evolución mensual del volumen total extraído por el sistema de captaciones que abastece a la Urbanización Santo Domingo.

4. ANALISIS DEL NIVEL PIEZOMETRICO Y DEL CAUDAL EN CADA UNO DE LOS CAMPOS DE POZOS

4.1. INTRODUCCION

A partir de varias fuentes de información, prin-

cialmente de las entidades propietarias de las explotaciones, se analiza el comportamiento de la piezometría y el caudal en cuatro campos de pozos que explotan el acuífero detrítico de Madrid, y de los que se dispone de un control sistemático de una o ambas variables: el sistema de pozos de Fuencarral (destinado a las redes del Canal de Isabel II), las captaciones de una empresa textil en Alcalá de Henares, los pozos de abastecimiento a una ciudad residencial en San Agustín de Guadalix, y los pozos perforados de la extinta Fundación Sur (Batres-Griñón). En la figura 1 puede verse la posición geográfica de las cuatro explotaciones.

4.2. CAMPO DE POZOS DE FUENCARRAL

4.2.1. Características generales

El Campo de pozos de Fuencarral se localiza en el límite N del casco urbano de Madrid, y está compuesto de nueve unidades de captación alineadas según una directriz aproximadamente N-S y con una distancia media entre sondeos de unos 500 m. (fig. 1). Las captaciones tienen una profundidad entre 430 y 550 m. y filtros tipo dúplex de puentecillo que ocupan del orden de un 15 por 100 de la entubación. Son pozos telescópicos, estando situada la principal reducción de diámetro (paso del diámetro de entubación de 450 a 250-300 mm.) a unos 230-260 m. de la superficie.

En el bienio 1973-74 se perforaron los siete pozos denominados FU3, FPX3, FA3, FB2, FC2, FPD1 y FE1 (fig. 1), los cuales explotaron el acuífero detrítico de Madrid de forma casi ininterrumpida (24 horas al día), desde julio de 1975 hasta febrero de 1985. Durante este período de casi diez años, las paradas generales de mayor duración fueron de ocho días en enero de 1980, 28 días en los meses de enero y febrero de 1985 y cinco días en junio del mismo año (YELAMOS, 1987).

En 1984 se perforaron el FA1 y FX4, pero apenas han sido utilizados ya que, desde febrero de 1985, tan sólo se bombea ocasionalmente en orden al mantenimiento de filtros y bombas.

El campo de pozos dispone de un sistema de telecontrol con caudalímetros magnéticos y transductores de presión (denominados «vegas»), de

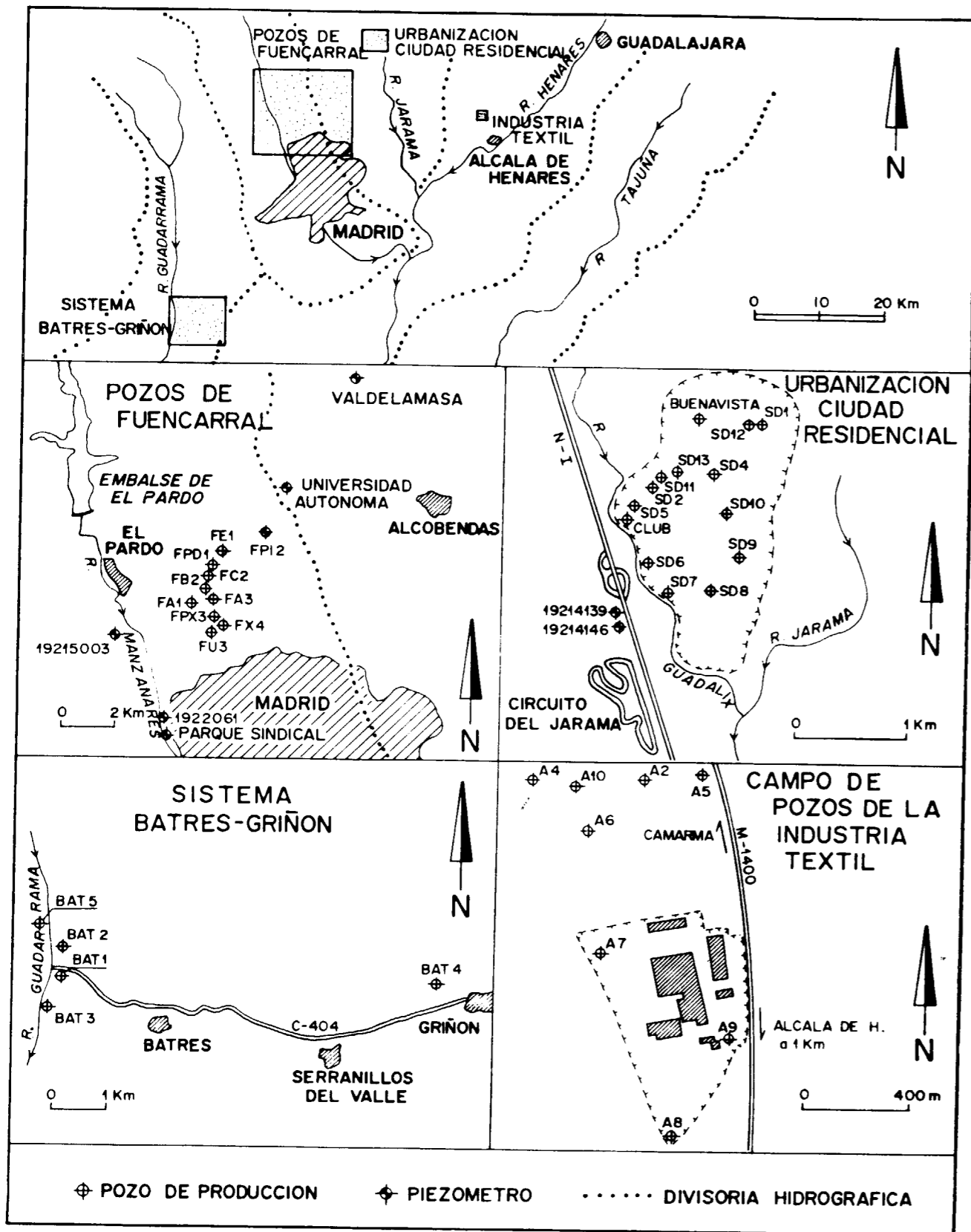


Figura 1.—Situación geográfica de los campos de pozos estudiados.

forma que durante los diez años de explotación se pudo tener un control detallado de caudal y niveles dinámicos, con un promedio de cuatro medidas diarias en cada una de las captaciones. Además se disponía de una red de control piezométrico en cuatro sondeos no equipados. Las medidas solían tener una frecuencia semanal, y en cada piezómetro se estuvo midiendo al menos durante cinco años.

4.2.2. Evolución del caudal y niveles dinámicos

En la figura 2 se representan los valores medios mensuales de caudal y nivel dinámico en dos de los pozos de producción; en los restantes la evolución temporal de ambas variables fue análoga a la de los representados. Los valores de caudal son el promedio, mientras el pozo está en servicio, sin incluir los escasos períodos de parada, mientras que los niveles piezométricos no están mezclados con medidas de nivel dinámico en recuperación. Toda la información se ha obtenido a partir de los registros originales de la empresa que controló la explotación.

A los pocos meses de iniciar la explotación conjunta de los siete sondeos, tiene lugar una fuerte disminución del caudal respecto de los resultados obtenidos en los aforos iniciales. Cuando se efectuaron los aforos, las restantes captaciones estaban paradas, lo que induce a suponer que la reducción de caudal tiene su origen (al menos en parte) por la interferencia entre captaciones.

Durante el bienio 1976-77 el caudal sigue descendiendo, si bien con menor gradiente que en los primeros meses del período de explotación. En la evolución del nivel dinámico hay dos o tres cambios bruscos coincidentes con los momentos en que las bombas son situadas a mayor profundidad a fin de permitir mayores descensos del nivel dinámico; con esta medida se consigue elevar temporalmente el rendimiento de las captaciones, pero desde octubre de 1977 (o junio de 1976, según qué pozo), las bombas quedan situadas a la máxima profundidad que permiten las características constructivas de los sondeos (sobre los 250 m. se encuentra la principal reducción en el diámetro de la entubación), no siendo factible aumentar las depresiones sin riesgos de averiar las bombas al dejarlas sin la mínima columna de agua por encima, de forma

que los niveles dinámicos son mantenidos casi constantemente a 230-240 m. de la superficie hasta el final de la explotación.

Mientras los niveles dinámicos están estabilizados, los caudales continúan con tendencia al descenso. En mayo de 1979 hay un ajuste de los caudalímetros, elevándose el caudal registrado en los siete pozos, mientras que un nuevo ajuste en octubre de 1982 (o abril de 1983, según qué pozo) sitúa el valor de caudal en todas las captaciones por debajo de los valores de mayo de 1979; esta circunstancia nos hace suponer que en el período comprendido entre los dos ajustes hay un error sistemático por exceso en las medidas de caudal; no obstante, aunque los valores absolutos de caudal no fueran correctos, en los gráficos de la figura 2 se puede apreciar cómo, tras producirse una parada, al volver a arrancar las captaciones incrementan temporalmente su caudal, especialmente tras los 28 días de la parada general efectuada entre enero y febrero de 1981; pero, transcurridos como máximo cuatro meses, vuelve a bombearse el mismo caudal que antes de la parada.

En los dos primeros años, las siete captaciones extraían un promedio anual de 340-350 l/s. En 1978 con los niveles dinámicos ya estabilizados a la máxima profundidad posible, se bombea un caudal continuo de 340 l/s. Dejando aparte el período 1978-83 por entender que las medidas son posiblemente erróneas, en 1984, nos encontramos con un caudal medio de 320 l/s.; en octubre de este año entró en producción el FA1, de manera que si descontamos el volumen de agua que aportó, los siete pozos iniciales suministran un caudal continuo de 303 l/s. En seis años de bombeo casi ininterrumpido a nivel dinámico constante, la explotación conjunta tuvo una disminución de caudal de sólo 5 l/s/año.

4.2.3. Red de control piezométrico

Compuesta por cuatro piezómetros de profundidades comprendidas entre los 210 y los 387 m., tiene el interés especial de mostrar claramente cómo la explotación de Fuencarral afectaba a captaciones situadas a varios kilómetros del centro geométrico del campo de pozos.

En la figura 3 se representa la evolución tempo-

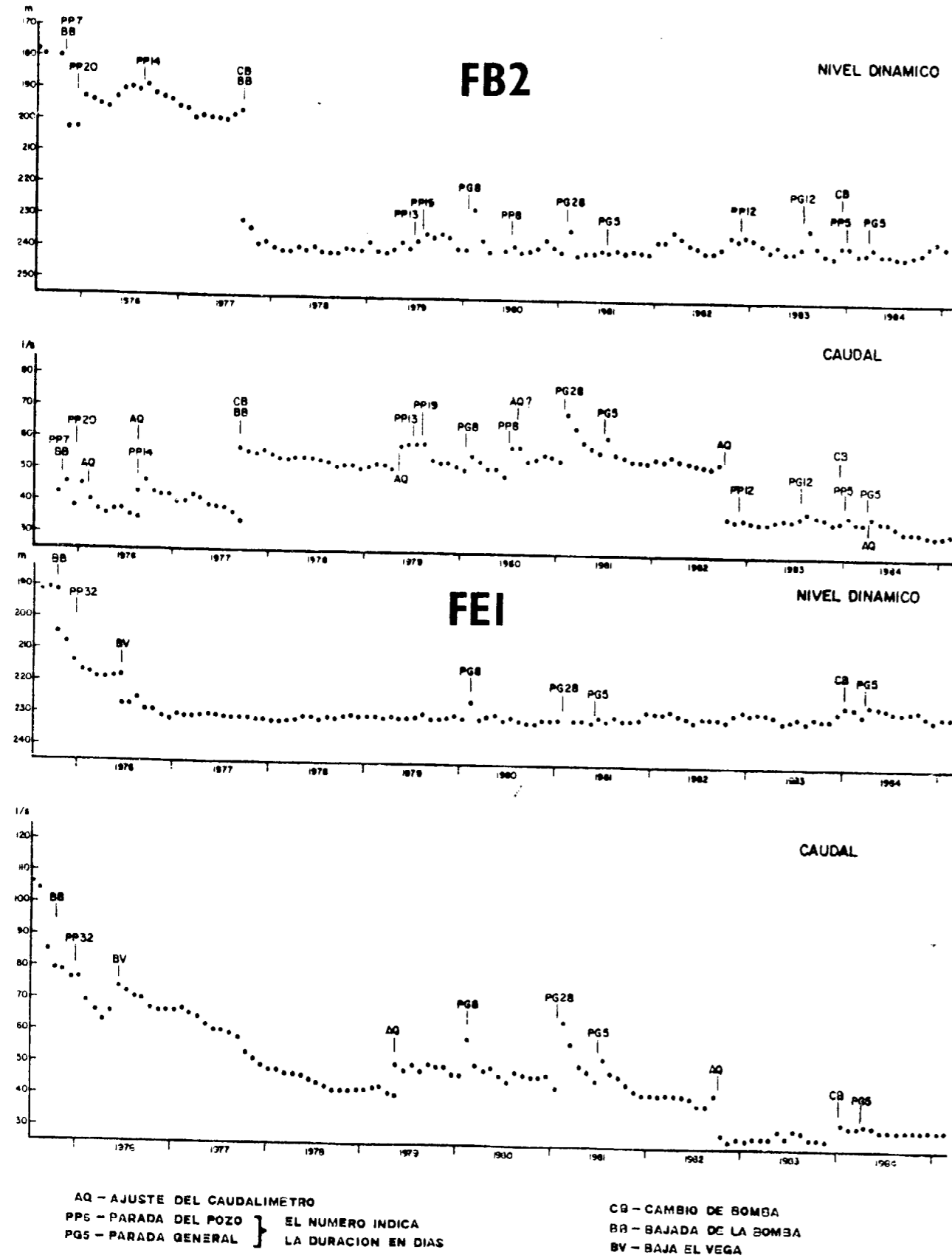


Figura 2.—Evolución del nivel dinámico y el caudal en los pozos FB2 y FE1.

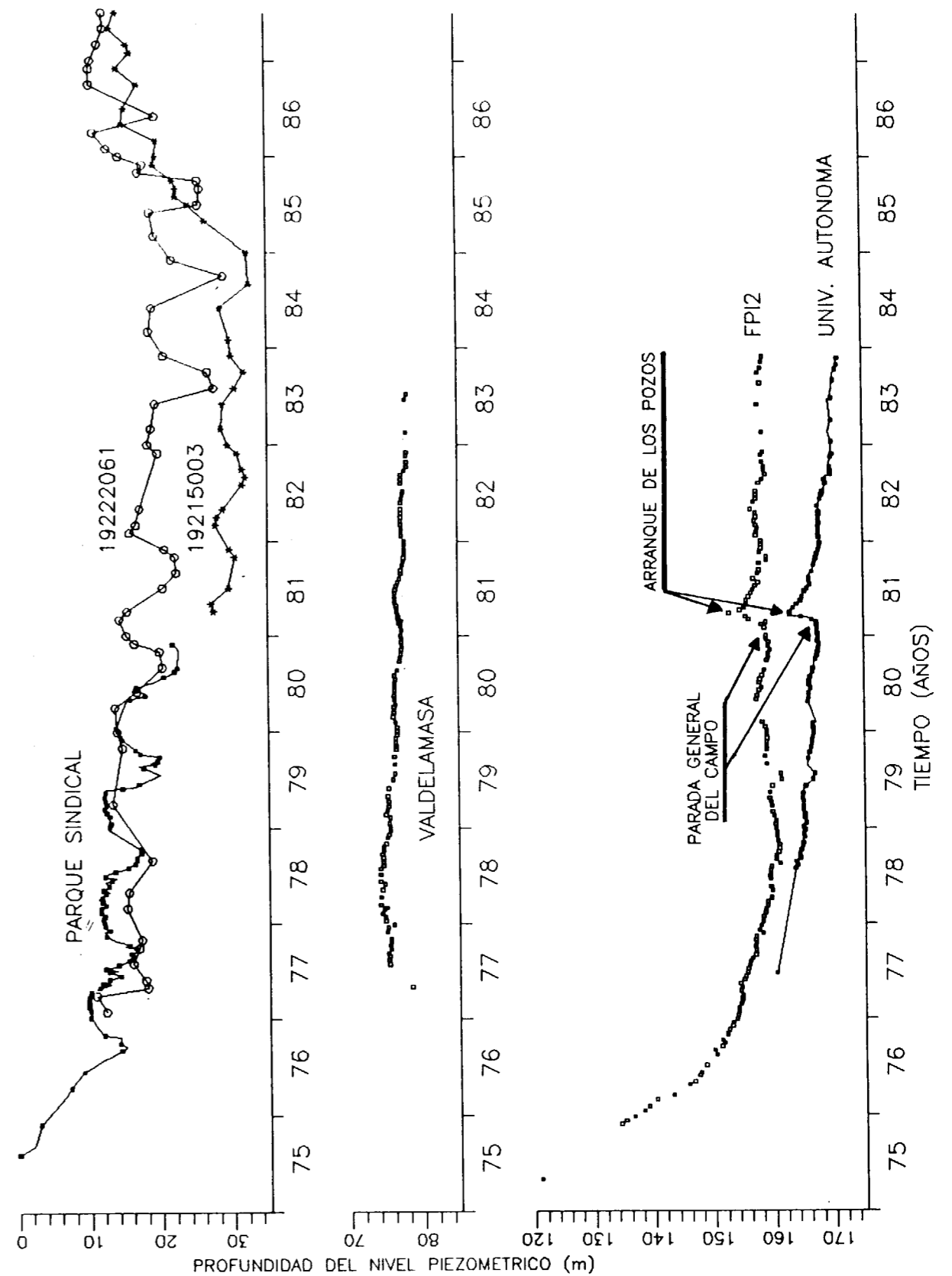


Figura 3.—Evolución de los piezómetros de Fuencarral.

ral del nivel piezométrico en los cuatro sondeos: FPI2, Universidad Autónoma (UAM), Parque Sindical y Valdelamasa. Además, incluyen los datos de dos piezómetros de la red del ITGE (IGME, 1987), que si bien tienen una menor frecuencia presentan la ventaja de cubrir un mayor período de tiempo que los piezómetros de la explotación de Fuencarral.

El FPI2 fue un pozo piloto que no llegó a entrar en producción, situado a unos 3,5 kilómetros del centro geométrico del campo de pozos (fig. 1). Su nivel estático permaneció estable desde que se perforó en 1973 hasta que empezaron a bombear las captaciones de Fuencarral en julio de 1975 (cfr. YELAMOS, 1987); desde entonces, su nivel piezométrico disminuye progresivamente, hasta mediados de 1978; en estos tres años se registra un descenso de casi 40 m., para posteriormente quedar más o menos estabilizado sobre los 155-158 m. de profundidad. Probablemente dicha estabilización sea debida a que desde octubre del año anterior, los niveles dinámicos en los pozos de producción alcanzan su profundidad máxima y permanecen constantes.

En los dos primeros meses de 1981 hay una clara recuperación del nivel en el FPI2 (6 m.), coincidiendo con la principal parada general del campo de pozos de Fuencarral. Tras arrancar de nuevo los pozos, vuelve a descender el nivel estático para situarse otra vez en la banda de 155-158 m. de profundidad. Este hecho es otra prueba de que el piezómetro lógicamente se veía afectado por las siete captaciones de Fuencarral.

El piezómetro UAM está a unos 5 kilómetros del centro geométrico del campo de pozos, y ya dentro de la cuenca hidrográfica del río Jarama; en su gráfica de evolución temporal del nivel piezométrico también se aprecia el efecto de la parada general de 19 días en los dos primeros meses de 1981, recuperándose el nivel 4 m.; luego, la influencia del campo de Fuencarral llegó a atravesar la divisoria de los ríos Manzanares-Jarama. En cambio, el piezómetro Valdelamasa no aprecia el efecto de esa parada, coherentemente con la hipótesis de que al ser el más alejado de las captaciones de Fuencarral (a unos 10 km.), no fue influenciado por ellas.

La gráfica de evolución del nivel piezométrico en el sondeo Parque Sindical muestra un descenso continuo, pero con marcadas oscilaciones

estacionales, estando los mínimos relativos en los meses de verano; estas oscilaciones no pueden tener su origen en la afección por el campo de pozos de Fuencarral, ya que éste mantenía su caudal más o menos constante a lo largo del año. Lo más probable es que dichas oscilaciones estacionales sean debidas a la influencia de pozos en explotación en las cercanías del Parque Sindical que se utilizan preferentemente en verano con destino al riego de zonas verdes. En un radio de 1,5 kilómetros alrededor del Parque Sindical se encuentran varias instalaciones que disponen de pozos perforados como el Real Club Puerta de Hierro, el Club de Campo (ambos disponen de un campo de golf), el Hipódromo de la Zarzuela o el Club Deportivo Playa de Madrid.

No obstante, es prácticamente seguro que el piezómetro Parque Sindical también era afectado por los bombeos de Fuencarral. En este piezómetro se dejó de medir a finales de 1980, no disponiéndose de información relativa a la parada general de 1981, pero en un análisis detallado, de otra parada general de menor duración, en enero de 1980, se pudo apreciar cómo el nivel piezométrico recuperó rápidamente 1 m. (YELAMOS, 1987).

Respecto a los dos piezómetros de la red del ITGE, ambos presentan unas gráficas análogas a las del Parque Sindical: forma sinusoidal con tendencia al descenso, pero desde que cesan los bombeos en Fuencarral (febrero de 1985) inician una fuerte recuperación, especialmente el piezómetro 19215003, el cual se sitúa 1 kilómetro más cerca del campo de Fuencarral que el piezómetro 19222061. Este comportamiento del nivel piezométrico demuestra que también ambos puntos de control estaban afectados por el campo de pozos, y merece destacarse que el 19215003 se encuentra en la margen derecha del río Manzanares, de forma que la influencia de los pozos de Fuencarral rebasaba el cauce del río, donde, en régimen natural, irían a descargar las aguas subterráneas.

El sondeo 19215003 está equipado, pero no se usa de forma continua, así, es probable que los mínimos relativos que presentan durante el estío fueran debidos a bombeos estacionales durante el verano. Por su parte, el 19222061 está a unos 500 m. del Parque Sindical, por lo que, posiblemente, su evolución estacional tenga un ori-

gen común con éste; la influencia de captaciones más cercanas que las de Fuencarral, que se utilicen preferentemente en verano para riego de zonas verdes.

4.3. CAMPO DE EXPLOTACION DE POZOS PARA LA INDUSTRIA TEXTIL

4.3.1. Características generales

La industria textil se ubica en las afueras de la población de Alcalá de Henares (fig. 1). Hace casi veinticinco años que en su recinto se perforaron nueve sondeos con destino al abastecimiento de la industria, con profundidades comprendidas entre los 120 y 150 m. Sólo seis de los sondeos entraron en servicio y continúan empleándose en la actualidad, junto con otro pozo construido en 1974.

Al igual que en el caso del campo de pozos de Fuencarral se trata de una explotación en la que se mantienen los niveles dinámicos constantes a la máxima profundidad posible, bombeando las 24 horas del día todo el año. Los pozos sólo cesan su actividad por averías.

El rendimiento de las captaciones es, con mucho, muy inferior al obtenido en las de Fuencarral, ya que aquéllas atraviesan los materiales de la facies Guadalajara: en los aforos iniciales los caudales solían estar comprendidos entre 1 y 4 l/s.

Inicialmente, todos los sondeos fueron surgentes. No se controlan los niveles piezométricos, pero en el sondeo A1 (fuera de servicio), en noviembre de 1987, el nivel se situaba a 25 m. de profundidad.

4.3.2. Evolución de los caudales

A pesar del relativamente escaso caudal que se extrae en la industria textil, esta explotación presenta el interés de disponer de un control sistemático del caudal en todas las captaciones con frecuencia mensual desde hace más de quince años. En la figura 4 se representan los resultados obtenidos en cuatro de los pozos de producción, así como la suma del caudal conjunto extraído por todas las captaciones.

Por no disponer de un control detallado de las incidencias de la explotación (como sí ocurría en el caso de Fuencarral), no es posible conocer el origen de las variaciones de caudal que se aprecian en los gráficos; quizá la única observación posible es que la tendencia en general es al descenso de los caudales, disminución tanto más acusada cuanto mayor es el caudal del pozo en concreto al inicio de la explotación. Así, destaca especialmente el caso del sondeo A2, que durante los tres primeros años bombea un caudal de unos 11 m³/h., mientras que en los tres últimos años su rendimiento es de tan sólo 4 m³/h. (una reducción superior al 50 por 100). El A6, que en el trienio 1972-74 proporciona unos 7 m³/h., en 1985-87 se encuentra en poco más de 5 m³/h. Respecto al pozo A4, en 1974-75 sobrepasa una producción de 10 m³/h., mientras que en los últimos años ésta se encuentra por debajo de los 5 m³/h. Por último, en los tres primeros años de producción del A7 su caudal promedio son 2,5 m³/h., pero en la segunda mitad de la década de los ochenta se ha reducido a 2 m³/h.

La evolución de caudal de todo el campo de pozos aparece en el gráfico inferior de la figura 4. El máximo rendimiento se obtiene justo al entrar en servicio el A10 (último sondeo que se perforó), alcanzándose un caudal total de 42 m³/h.; en los años siguientes hay un progresivo descenso del rendimiento de la explotación, con un gradiente de descenso en torno a los 2 m³/h/año; los mínimos relativos que aparecen en el hidrograma tienen su origen en simples paradas por averías en uno o dos pozos, tal como se indica en la figura 4. Finalmente, en los últimos cuatro años, parece que el caudal se ha estabilizado en torno a 20 m³/h.

4.4. CAMPO DE EXPLOTACION DE POZOS EN UNA CIUDAD RESIDENCIAL

4.4.1. Características generales

La urbanización privada en cuestión está situada al norte de Madrid, a la altura del kilómetro 29 de la carretera N-I; su abastecimiento de agua se realiza únicamente mediante pozos perforados, habiéndose ejecutado desde finales de la década de los sesenta un total de 15 sondeos, de los cuales cinco ya están fuera de servicio. Las captaciones tienen entre 240 y 300 m. de pro-

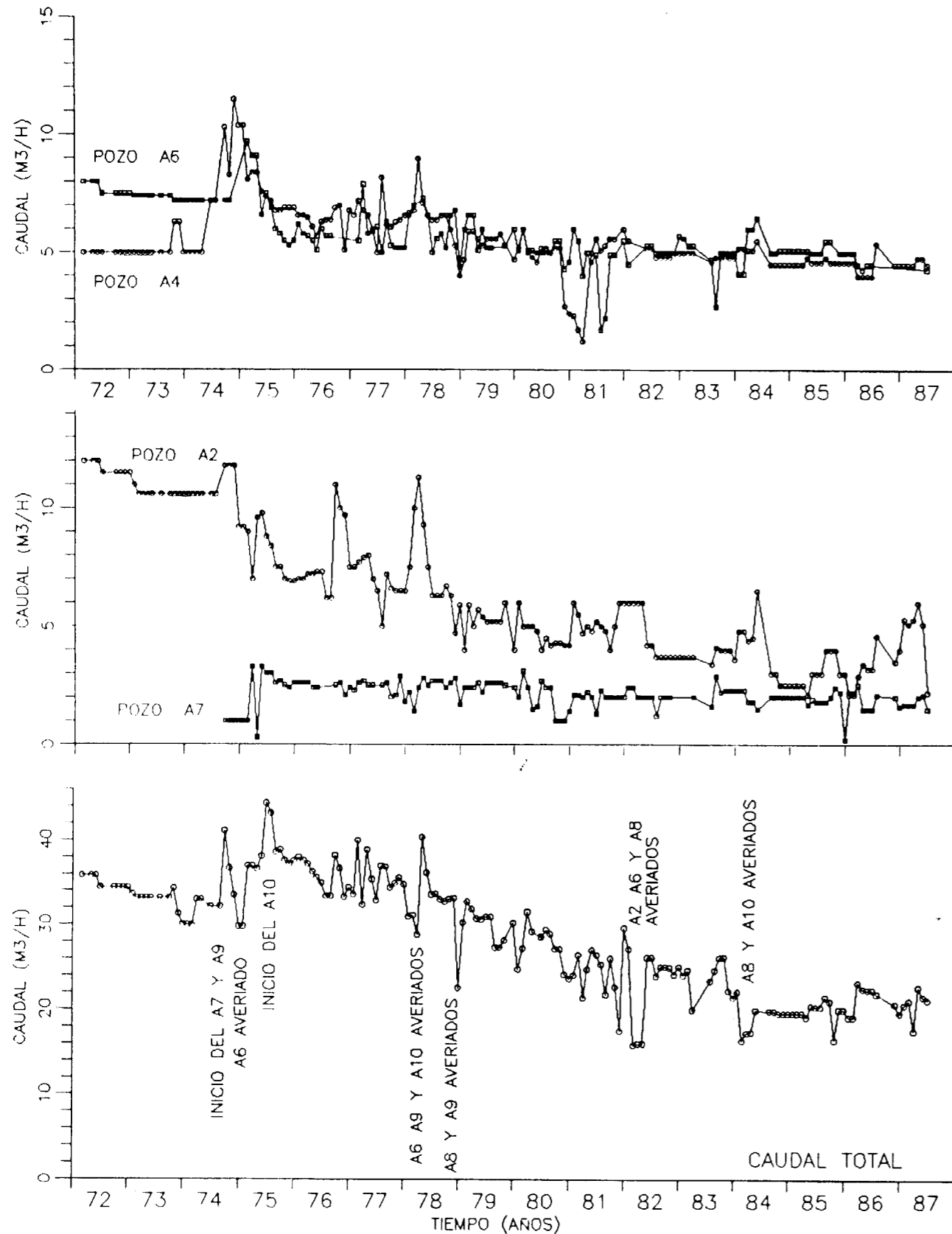


Figura 4.—Evolución del caudal en los pozos de la industria textil.

fundidad, y sus caudales en los aforos iniciales unitarios oscilaron entre 7 y 10 l/s.

A diferencia de las explotaciones de Fuencarral y de la industria textil que mantienen un ritmo sostenido de bombeo durante todo el año, las captaciones de la ciudad residencial bombean de forma discontinua en función de las necesidades de la urbanización. Destaca una fuerte punta en los meses de verano; así, en 1987, el volumen extraído en el mes de julio fue ocho veces superior a las necesidades de agua de enero. Básicamente, esta punta es debido a que de las 26,4 Ha de que dispone la urbanización, más del 50 por 100 están ocupadas por zonas verdes que precisan ser regadas durante el estío.

El número de unidades de captación ha ido creciendo paralelamente con el incremento de habitantes de la urbanización, a la vez que iban menguando los caudales de los pozos ya existentes. En agosto de 1975 se disponía de cinco pozos en servicio y otros tres habían sido abandonados; hasta 1980 se añaden cinco captaciones más, mientras que el pozo más reciente data de 1986.

4.4.2. Evolución de caudales

En el gráfico superior de la figura 5 aparecen representadas las variaciones del caudal en tres de los pozos perforados que abastecen a la urbanización. Las medidas no tienen una frecuencia concreta y tampoco disponemos de un control detallado de los períodos de parada y funcionamiento de las bombas. Pero, a pesar de estas limitaciones, se puede reconocer que en todos los sondeos hay una tendencia al descenso junto con una variación estacional muy clara, donde los valores mínimos corresponden a los meses de verano, en plena consonancia con el hecho ya indicado de que es en ese período cuando las captaciones se emplean al máximo.

Además, en el caso de los dos pozos más antiguos (SD7 y SD11), existe un claro cambio en el gradiente de descenso a partir del bienio 1979-80; durante los 5-6 primeros años el SD11 pierde un caudal de unos 2,5 l/s/año y el SD7 1,5 l/s/año, mientras que con posterioridad a 1979-80, sus descensos son del orden de 0,3 y 0,6 l/s/año, respectivamente. Al igual que en el caso de las variaciones estacionales, este cambio es debido

a una modificación en el ritmo de bombeo del campo de pozos. Por un lado, desde 1973 a 1977 la demanda de agua de la urbanización crece a un promedio anual del 20,5 por 100 acumulativo, y a partir de 1978 se estabiliza entre 0,8 y 1,0 hm³/año (cfr. OCTAVIO DE TOLEDO, 1986). Por otra parte, en 1978 se perforaron tres nuevos sondeos, y otros dos más en el bienio siguiente (entre estos el SD12, que es el de mayor rendimiento de toda la explotación). Estas dos circunstancias implican una disminución en el tiempo unitario de bombeo para cada pozo, y por ende la disminución del gradiente de descenso de caudal en los pozos ya existentes.

Desde 1983, el pozo SD12 es el único que se bombea a lo largo del año, quedando los restantes para cubrir las puntas de demanda, permaneciendo parados al menos cinco meses al año. Desde entonces, el caudal en el SD12 ha sufrido una merma de unos 0,5 l/s/año, y también refleja una disminución en los meses de verano al incrementarse el número de horas de bombeo al día.

4.4.3. Evolución del nivel piezométrico

El registro temporal de medidas de nivel piezométrico es más corto que el de caudales; tampoco las medidas de nivel piezométrico tienen una frecuencia concreta, y se mezclan medidas de nivel dinámico junto con valores de niveles piezométricos en recuperación. La evolución del nivel piezométrico en dos de los pozos de producción pueden apreciarse en el gráfico inferior de la figura 5, junto con los valores de los dos piezómetros de la red del ITGE más próximos a la urbanización (19214139 y 19214146).

La pauta de variación del nivel piezométrico en los pozos de producción es análoga a la del caudal: tendencia general al descenso, sin claros síntomas de estabilización, y valores mínimos muy acusados durante los meses de verano al ser en esta época cuando los pozos perforados se emplean al máximo. A grandes rasgos el nivel piezométrico desciende del orden de 5 m. al año, pero hay que tener presente que este gradiente puede variar notablemente en función del tiempo concreto que estén los pozos funcionando.

Los dos piezómetros de la red del ITGE también

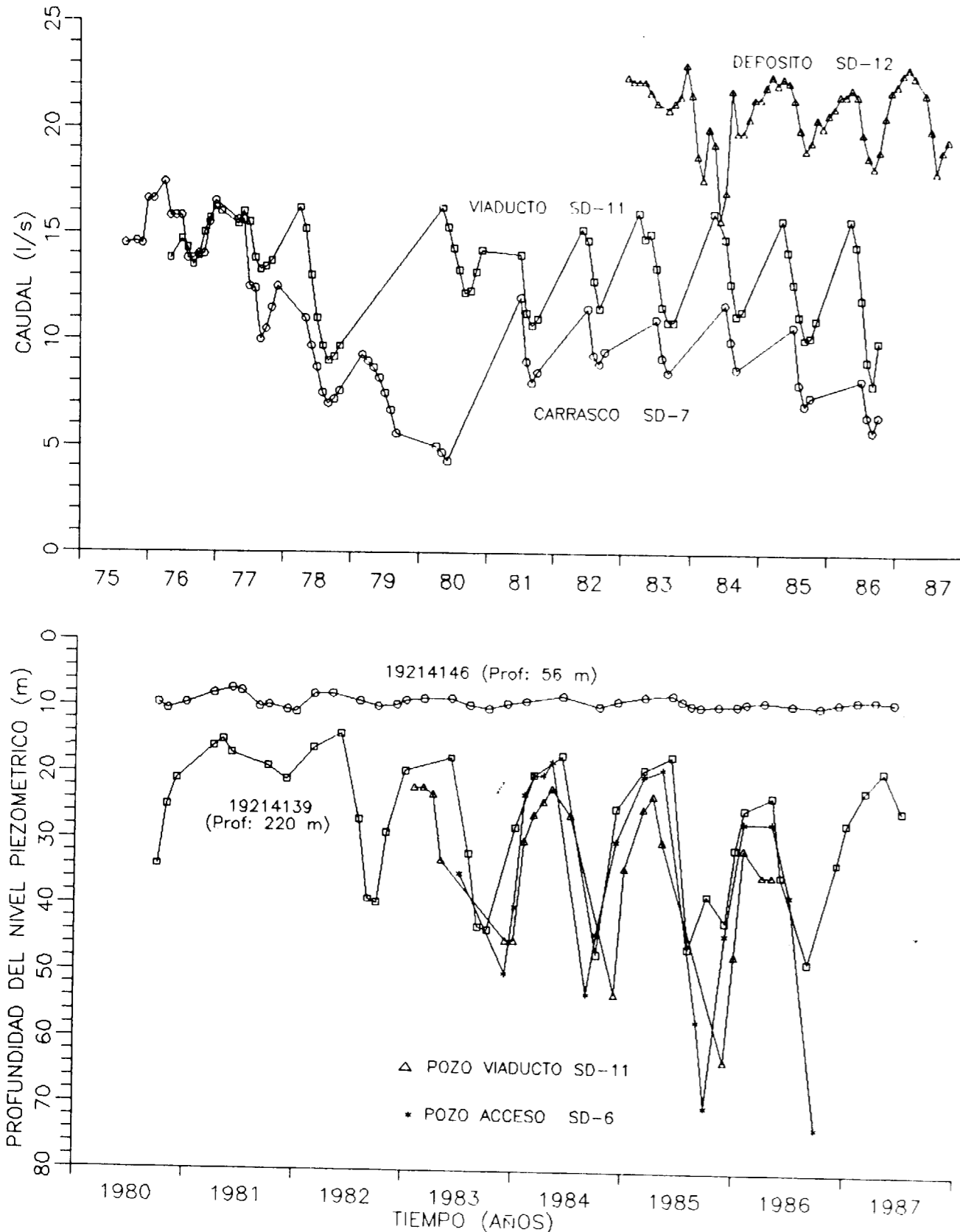


Figura 5.—Evolución del caudal y nivel piezométrico en los pozos de la Urbanización.

presentan una evolución estacional con los máximos descensos durante la estación veraniega. Pero hay un fuerte contraste entre la gráfica del 19214146 y el 19214139; mientras que en el primero el nivel piezométrico se mantiene constante y con ligeras oscilaciones de 1-2 m., en el segundo la piezometría muestra una tendencia muy similar a la de las captaciones de la Urbanización: descenso continuo con bruscas bajadas en los meses de verano.

Los piezómetros están juntos (distanciados tan sólo unos 150 m.), y en realidad no son perforaciones de pequeño diámetro con la finalidad exclusiva de medir la profundidad del nivel del agua, sino que se trata de pozos perforados que según la fuente de información consultada (IGME, 1987) no están en servicio. La diferencia básica entre ambos piezómetros parece ser que es la profundidad; el que mantiene su nivel constante tiene tan sólo 56 m., mientras que el 19214139 alcanza los 220 m., o sea, una profundidad similar a la de las captaciones de la ciudad residencial.

Estas consideraciones nos llevan a suponer la hipótesis de que la diferencia de comportamiento entre ambos piezómetros puede ser debida a que el 19214139 está influenciado por los bombeos de la ciudad residencial (o quizá por otros pozos más próximos al piezómetro y que se usen principalmente durante el estío), mientras que el comportamiento del piezómetro de menor profundidad es posible que esté determinado por la existencia de un acuífero local colgado, al que apenas afectarían los bombeos en pozos perforados de relativa profundidad.

4.5. CAMPO DE POZOS DE BATRES-GRIÓN

4.5.1. Características generales

Se compone de cuatro pozos perforados dentro del término municipal de Batres, muy próximos al cauce del río Guadarrama, y otro pozo más en la localidad de Griñón, cerca de la divisoria Guadarrama-Jarama. Fueron diseñados para el abastecimiento de ocho localidades situadas al SO de la Comunidad Autónoma de Madrid. Las captaciones eran propiedad de la extinta Fundación Sur, actualmente anexionada al Canal de Isabel II.

Los sondeos fueron perforados entre 1978 y 1980, con profundidades entre los 150 y los 300 m. En los aforos iniciales unitarios se obtuvieron caudales de 26 a 60 l/s., con descensos de 20 a 65 m.

Aunque la red de distribución de la Fundación Sur alcanzaba a las poblaciones de Griñón, Torrejón de la Calzada, Torrejón de Velasco, Pinto, Valdemoro, San Martín de la Vega, Ciempozuelos y Titulcia, no todas las poblaciones se abastecían al 100 por 100 por estos pozos, ya que Griñón y Torrejón de la Calzada disponen de un sistema de abastecimiento autónomo, mientras que a Pinto también le suministraba Agua el Canal de Isabel II (VILLARROYA, 1988).

Hasta 1986, la explotación de los cinco pozos fue de unos 3,5 hm³/año. Al año siguiente, el Canal de Isabel II conecta su red de abastecimiento con la de la antigua Fundación Sur, lo que al parecer ha supuesto la paralización casi total de los bombeos.

4.5.2. Evolución de la piezometría y los caudales

Disponemos de medidas desde el inicio de la explotación hasta mediados de 1986, en que la empresa que construyó los pozos dejó de encargarse del mantenimiento de las instalaciones del campo. Parece ser que desde entonces ya no se controlan los niveles.

El pozo Batres-I tiene el tubo piezométrico obstruido, y al igual que el Batres II no dispone más de registro de caudal desde 1983. En la figura 6 se recogen las variaciones de profundidad del nivel piezométrico y del caudal para las captaciones Batres-III, IV y V, que son las que tienen un registro más amplio de ambas variables.

Análogamente al caso de la ciudad residencial, no parece existir un registro detallado de los períodos de paradas y de servicio; los pozos arrancaban y paraban en función de las necesidades de la demanda. El control de nivel piezométrico era independiente de si el pozo estaba o no bombeando, de forma que en los gráficos se mezclan valores de nivel estático y nivel dinámico.

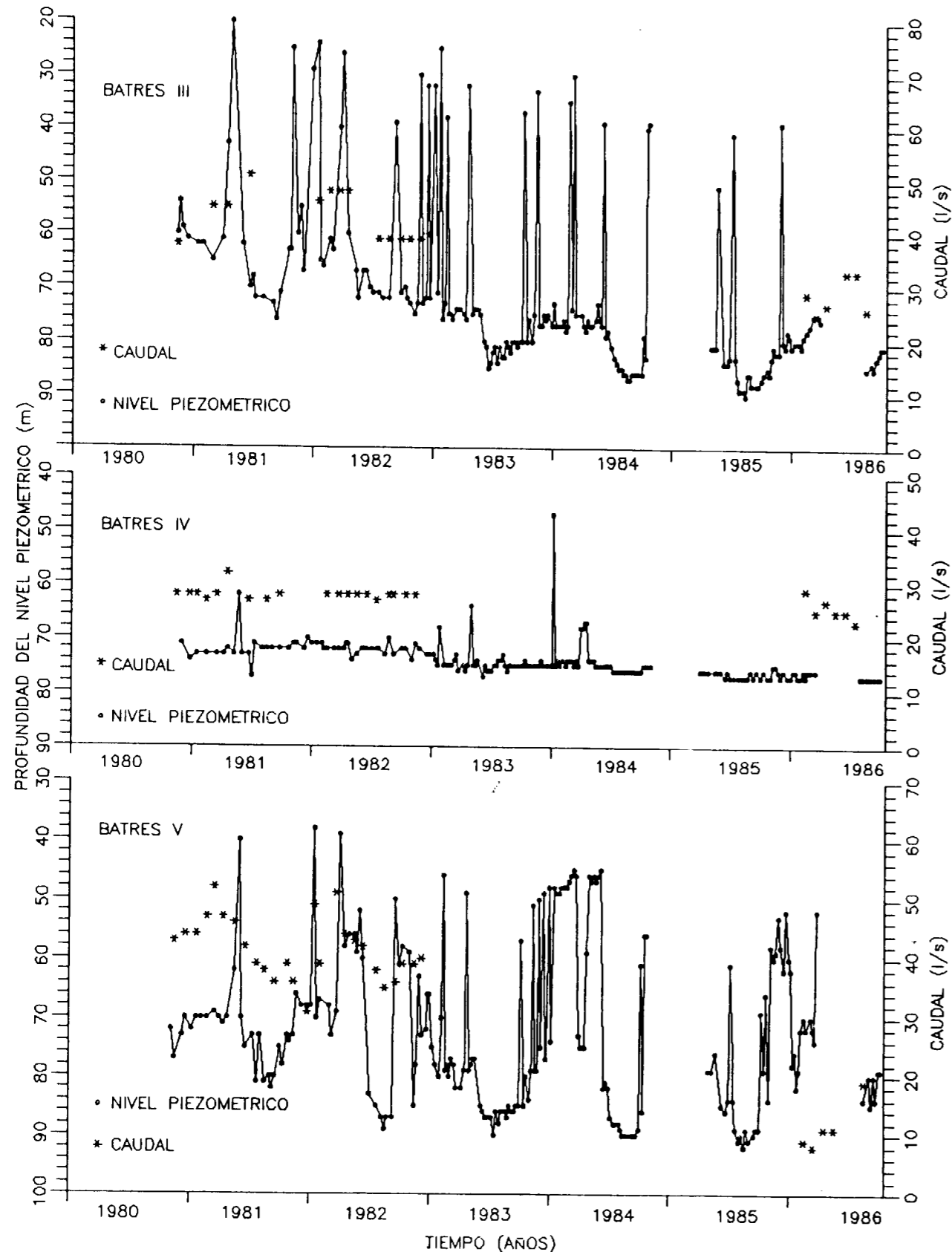


Figura 6.—Variación de la piezometría y el caudal en los pozos Batres III, Batres IV y Batres V.

El pozo Batres-IV, situado en el interfluvio Guadarrama-Jarama, era el más utilizado de los cinco (SUSO, comunicación personal, 1989); en su gráfica de la figura 6 la mayoría de los niveles piezométricos deben de ser dinámicos; éstos muestran una ligera tendencia al descenso, con un gradiente de unos 0,75 m/año.

En cambio, los sondeos Batres-III y Batres-V (situados en zonas de valle), presentan unas gráficas de evolución del nivel piezométrico en forma de «dientes de sierra», indicando mayores períodos de parada que el Batres-IV. También se aprecia que las máximas depresiones del nivel se concentran durante los meses del estío. Otro contraste con el Batres-IV es el mayor gradiente de descenso de estos dos: de unos 3,5 m/año para el Batres-III y unos 2,25 m/año para el Batres-V.

En relación a los caudales, de nuevo es el Batres-IV quien apenas desciende (a pesar de ser el pozo más utilizado): en 1981-82 su caudal ronda los 28 l/s., mientras que en 1986 se indican 26 l/s., igual que el obtenido en el aforo inicial unitario. En cambio, las captaciones situadas en el fondo del valle del Guadarrama descienden notablemente su rendimiento: el Batres-III pasa de 45-50 l/s. a unos 30 l/s. en los últimos registros, y sobre todo el Batres-V, que si al comienzo de la explotación suministraba unos 40 l/s., al llegar a 1986 su caudal se ha reducido algo más del 50 por 100.

5. DISCUSION

De los cuatro campos de bombeos analizados, indudablemente es el de Fuencarral el que mayor interés hidrogeológico presenta, no sólo por ser el de mayor volumen de agua extraído, sino también por disponer de medidas sistemáticas de nivel piezométrico y caudal, un control detallado de todas las incidencias de la explotación, y una pequeña red de piezómetros propia.

La información recopilada durante el período en que estuvo en servicio demuestra claramente que la influencia de sus captaciones se hacía notar en un radio de varios kilómetros, rebasando la divisoria hidrográfica Manzanares-Jarama, así como el cauce del primero de estos dos ríos. Este hecho lleva a suponer que por causa de la

explotación de Fuencarral, sumada a la existencia de otras captaciones de menor importancia y cercanas al río (como las indicadas en el apartado 4.2.3.), el río Manzanares pudo pasar a ser perdedor en parte de su trazado, en lugar de constituir una zona de descarga natural de las aguas subterráneas del acuífero del Terciario detrítico de Madrid.

Otro apoyo a esta tesis lo encontramos en un inventario exhaustivo de puntos de agua que realizamos en noviembre de 1985 (YELAMOS, 1986), el cual cubría el cauce del río Manzanares desde su confluencia con el arroyo de Trofa hasta el Puesto de Segovia; todas las medidas de nivel estático en pozos perforados situados a menos de 1 kilómetro del cauce del río estaban por debajo de la cota de éste, y, sin embargo, la mayoría de los sondeos habían sido surgentes en origen.

En los otros tres campos de pozos, al no disponer de una red piezométrica propia ni de un control detallado de las incidencias de la explotación, se hace más difícil evaluar, ni siquiera cualitativamente, la influencia de estas explotaciones en el sistema de flujo del acuífero.

En las captaciones de Batres-Griñón los sondeos Batres-III y Batres-V están muy próximos al cauce del río Guadarrama (fig. 1) y sus niveles dinámicos se mantuvieron claramente por debajo de la cota de éste, lo cual invita a suponer que también el río Guadarrama haya perdido, en aquella zona, una buena parte de la aportación que secularmente le ofrece el acuífero terciario detrítico.

Con respecto a la explotación de la urbanización, ya se indicó que la evolución de un piezómetro de la red del ITGE coincide con las variaciones de nivel en los sondeos para abastecimiento de la misma; éstos se ubican en la margen izquierda del río Guadalix y el piezómetro en la margen derecha (fig. 1) sería muy arriesgado afirmar que la influencia de los pozos de la ciudad residencial es la causa de las variaciones de nivel en ese piezómetro sin disponer de un inventario muy completo de los puntos de agua de ese área; pero teniendo en cuenta que sondeos como el SD6 y SD7, sitios a menos de 200 m. del río Guadalix, fueron inicialmente surgentes, y sus niveles estáticos desde 1985 están, al menos, a 15 m. de profundidad, es coherente

suponer que el río haya pasado a ser perdedor a causa de las extracciones de agua para la urbanización.

En todas las captaciones estudiadas, tanto el caudal como el nivel piezométrico muestran un descenso continuo, o bien se estabilizan, pero no se aprecian síntomas de recuperación salvo en el caso de que cesen o disminuyan las extracciones de agua. Merece destacarse el hecho de que en el caso de sondeos con caudales más o menos estabilizados, el caudal que se mantiene es claramente inferior al registrado en los aforos iniciales; como tónica general hay una reducción del rendimiento del orden de un 50 por 100. Sería conveniente tener presente esta circunstancia en los estudios que pretenden evaluar los recursos que puede suponer el acuífero terciario detrítico para el abastecimiento al alfoz de Madrid.

Finalmente, no se aprecia que factores naturales, tales como la recarga del acuífero, a partir de la infiltración eficaz de la lluvia, o períodos de sequía como el de 1979-82, tengan influencia en la variación de caudal y/o nivel piezométrico de las captaciones en servicio. Los sondeos de la Ciudad Residencial o los pozos Batres-III y V disminuyen sus caudales y descienden sus niveles en los meses de verano, pero es claro que esto es debido a que en esa época es cuando se extraen mayores volúmenes de agua.

En las explotaciones de Fuencarral y de la industria textil que mantienen su régimen de bombeo constante a lo largo del año no se registran descensos de caudal y/o nivel piezométrico en el verano, ni recuperaciones durante la época de lluvias.

Es conocido que 1979-82 fue un período especialmente seco en la zona de Madrid, de manera que el Canal de Isabel II realizó una campaña para ahorrar el consumo de agua, pero sin llegar a restricciones. Tampoco se aprecia que esta sequía afectase al rendimiento de las cuatro explotaciones. Incluso por esas fechas en la urbanización hay recuperación de caudales y niveles al modificarse las pautas de bombeo. El factor de mayor peso en los cuatro campos de pozos analizados es siempre el régimen de la explotación.

6. CONCLUSIONES

A partir de los registros de piezometría y caudal en cuatro campos de pozos de los más importantes en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid, controlados durante un período de al menos seis años, se refleja que ambas variables o bien descienden progresivamente, o bien se estabilizan, pero con valores de caudal muy inferiores a los obtenidos en los aforos iniciales.

También hay evidencias de que la influencia del principal campo de pozos (el de Fuencarral) alcanzaba distancias de varios kilómetros y que, posiblemente, los ríos Manzanares, Guadarrama y Guadalix hayan dejado de ser efluentes en parte de su recorrido sobre el acuífero Terciario detrítico de Madrid, al menos temporalmente.

En las cuatro explotaciones el factor que cobra mayor importancia en la evolución de la piezometría y los caudales es siempre el régimen de explotación de las captaciones. No se aprecia influencia de la recarga a partir de la infiltración eficaz de la lluvia, ni descensos generalizados atribuibles al período seco 1979-82; es posible que ambos fenómenos estén enmascarados por aquel factor. En cualquier caso, los piezómetros utilizados (pozos profundos), posiblemente no son los más idóneos para analizar ambos fenómenos, y sería recomendable un estudio detallado de las variaciones del nivel piezométrico en este acuífero, pero contando con sondeos diseñados exprofeso para tal fin.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro agradecimiento a aquellas personas y organismos que amablemente nos permitieron la recopilación de los datos históricos de las cuatro explotaciones.

Al ITGE por los datos de su red piezométrica.

Al Canal de Isabel II y al SGOP, por las facilidades prestadas en la consulta de toda la documentación relacionada con los pozos de Fuencarral.

Los datos de Batres-Griñón fueron cedidos por FINA IBERICA, S. A.

Vaya nuestro agradecimiento a los señores López Angueira, Ovejero y Villaba por la información proporcionada sobre las captaciones de la ciudad residencial, la industria textil y el Sistema Batres-Griñón, respectivamente.

REFERENCIAS

FERNANDEZ URIA, A. (1984): *Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en el sector oriental de la Cuenca de Madrid*. Tesis Doctoral. 2 tomos. Facultad de Ciencias. Univ. Autónoma de Madrid.

FERNANDEZ URIA, A., y LLAMAS, M. R. (1983): *La evolución de la bibliografía hidrogeológica de la región madrileña como índice del desarrollo de las aguas subterráneas de la zona*. III Simposio Nacional de Hidrogeología. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos, 9, 549-558. Madrid.

HERRAEZ, M. I. (1983): *Análisis de las variaciones de los isótopos ambientales estables en el sistema acuífero detrítico terciario de Madrid*. Tesis Doctoral. Fac. de Ciencias. Univ. Autónoma. Madrid.

HUBBERT, M. K. (1940): *The Theory of ground-water motion*. The Journal of Geology, XLVIII (8), 785-944.

IGME (1982): *Estudio de las alternativas de utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas en las cuencas del Guadiana y Tajo. Modelo hidrogeológico digital del Terciario detrítico. Esquema general de gestión integrada en la Cuenca del Tajo*. Informe interno número 35108. Madrid.

IGME (1984): *Evolución piezométrica de los sistemas acuíferos núms. 14, 15 y 17 de la Cuenca del Tajo. Análisis del período 1977-82. Primer informe*, 66 pp. Madrid.

IGME (1986): *Proyecto para la vigilancia y control de los acuíferos en las cuencas del Norte, Tajo, alto Guadiana, alto Guadalquivir y Duero. Informe final de evolución piezométrica de la Cuenca del Tajo. Período julio-agosto de 1985 a mayo de 1986*. Informe interno núm. 35163. 3 tomos. Madrid.

IGME (1987): *Proyecto para desarrollo del plan de gestión y conservación de acuíferos en las cuencas medio-baja del Júcar, Pirineo Oriental, Duero, Ebro, Guadiana y Tajo, 1986-87. Informe de evolución piezométrica de la Cuenca del Tajo*. Informe interno. Madrid.

IGME - DIPUTACION PROVINCIAL DE MADRID (1981): *Atlas hidrogeológico de la provincia de Madrid*. Madrid.

LOPEZ-CAMACHO, B. (1977): *Estudio del agua subterránea en medios heterogéneos y anisótropos mediante un modelo digital bidimensional: aplicación a la región de Madrid*. Memoria de la beca concedida por el colegio de I. C. C. P., 106 pp. Madrid.

LOPEZ-CAMACHO, B.; BASCONES, M., y DE BUSTAMANTE, I. (1986): *El agua subterránea en Madrid*. Bol. de Informaciones y Estudios, 46, 127 pp. SGOP. Madrid.

LOPEZ VERA, F. (1975): *Hidrogeología de la cuenca del río Jarama en los alrededores de Madrid*. Tesis Doctoral, 3 tomos. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

LOPEZ VERA, F. (1979): *Variación de la piezometría en el acuífero del Terciario Detritico de Madrid*. Acta Geológica Hispánica, 14 (Homenaje a Luis Solé Sabarís), 405-409. Barcelona.

LLAMAS, M. R. (1986): *Las aguas subterráneas de Madrid: esperanzas y preocupaciones, datos e incertidumbres, posibles líneas de acción*. PIAM, 12, 13-36. Canal de Isabel II. Madrid.

LLAMAS, M. R., y LOPEZ VERA, F. (1975): *Estudios sobre los recursos hidráulicos subterráneos del Area Metropolitana de Madrid y su zona de influencia: avance de las características hidrogeológicas del Terciario detrítico de la Cuenca del Jarama*. Agua, 88, 36-55. Centro de Estudios de Investigación y Aplicaciones del Agua. Barcelona.

LLAMAS, M. R., y MARTINEZ ALFARO, P. E. (1980): *Análisis preliminar mediante modelos digitales de la edad de las aguas subterráneas del acuífero terciario de Madrid*. Primera Reunión Nacional sobre Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 2, 589-608. Santander.

MARTINEZ ALFARO, P. E. (1977): *Hidrogeología de los materiales terciarios y cuaternarios de la Cuenca del río Manzanares*. Tesis Doctoral, 3 tomos. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

MARTINEZ ALFARO, P. E. (1982): *Análisis del funcionamiento del sistema hidrogeológico de la Fosa del Tajo mediante un modelo digital tridimensional*. Informe interno del Proyecto de Investigación «Hidrogeología de grandes cuencas sedimentarias. Modelos digitales para el análisis del flujo. Aplicación a las Cuencas del Tajo y Tucson». SGOP y Univ. de Arizona. Inédito. Memoria, 79 pp. Madrid.

OCTAVIO DE TOLEDO, F. (1986): *Experiencias de explotación de aguas subterráneas en la Comunidad de Madrid*. PIAM, 12, 269-286. Canal de Isabel II. Madrid.

OCTAVIO DE TOLEDO, F., y LOPEZ-CAMACHO, B. (1980): *El papel de las aguas subterráneas en la ordenación de Alfoz de Madrid*. Primera Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, 2, 575-588. Santander.

REBOLLO, L. (1977): *Estudio hidrogeológico regional de las cuencas media y baja del río Guadarrama*. Tesis Doctoral, 3 tomos. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

RUBIO, P. (1984): *Hidrogeoquímica de las aguas subterráneas en el sector occidental de la Cuenca de Madrid*. Tesis Doctoral, 2 tomos. Fac. de Ciencias. Univ. Autónoma. Madrid.

SASTRE, A. (1978): *Hidrogeología regional de la cuenca terciaria del río Alberche*. Tesis Doctoral. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

SGOP - CAT (1973): *Estudio de las relaciones entre las aguas superficiales y subterráneas de la zona comprendida entre las cuencas de los ríos Guadarrama y Henares*, 4 tomos. Madrid.

SGOP - ITGE (1989): *Estudio de delimitación de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e islas Baleares y síntesis de sus características*. Estudio 07/88. Madrid.

TOTH, J. (1963): *A theoretical analysis of ground-water*

flow in small drainage bassins. Journal of Geophysical Research, 68 (16), 4795-4812.

VILLARROYA, F. I. (1977): *Hidrogeología regional del Neógeno detrítico Cuaternario de la Cuenca del río Henares.* Tesis Doctoral, 3 tomos. Fac. de Geología. Univ. Complutense. Publicado en 1983 por Edit. Univ. Complutense. Colección Tesis Doctorales, núm. 147/83, 745 pp. Madrid.

VILLARROYA, F. I. (1988): *Análisis de la evolución histórica del acuífero Terciario ante los bombeos principales.*

Informe interno para el Canal de Isabel II. Memoria, 136 pp. Madrid.

YELAMOS, J. G. (1986): *Estudio de la Hidrogeología e Hidrogeoquímica en el sector NO del casco urbano de Madrid.* Tesis de Licenciatura, 152 pp. Fac. de C. Geológicas. Univ. Complutense. Madrid.

YELAMOS, J. G. (1987): *Informe de recopilación y análisis preliminar de los datos del campo de pozos de Fuencarral (años 1972-1985).* Informe interno para el Canal de Isabel II. Memoria, 184 pp. Inédito. Madrid.

Original recibido: Octubre de 1990.

Original aceptado: Marzo de 1991.

Resultados y documentación disponible del Proyecto ECORS-PIRINEOS.

Por J. L. PLATA TORRES (*)

RESUMEN

Los perfiles sísmicos de reflexión profunda son, en la actualidad, la mejor herramienta para el conocimiento de la corteza terrestre. En España se ha lanzado recientemente con este objetivo el Programa ESCI (Estudios Sísmicos en la Corteza Ibérica).

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España ha participado, en colaboración con organismos españoles y franceses, en el Proyecto ECORS-PIRINEOS, donde se ha atravesado por primera vez, con sísmica de reflexión, una cadena montañosa importante. Los resultados obtenidos son de buena calidad, permitiendo establecer hipótesis más fiables sobre la geometría y formación de los Pirineos.

El objetivo de esta comunicación es dar a conocer los documentos obtenidos en el Proyecto ECORS-PIRINEOS, cuya consulta puede realizarse en el Centro de Documentación del ITGE. Se describen asimismo, de forma somera, todos los trabajos llevados a cabo, tanto en el perfil principal como en sus actividades complementarias.

Palabras clave: Sísmica, Reflexión profunda, Corteza terrestre, Pirineos.

ABSTRACT

Deep Seismic Reflexion Profiling is the best way to acknowledge the Earth Crust. This is the objective of the new Spanish Research Program ESCI.

The GeoMining Technological Institute of Spain (ITGE) was one of the responsables of the ECORS-PYRENEES Project, sponsored by French and Spanish organisations. This profile has been the first one in crossing a high mountains chain with seismic reflexion profiling. The good quality of the data allow a better understanding of the Pyrenees geological structure.

The main results of this Profile and complementary operations are shown briefly here. The documentation acquired during the Project is as the disposal of the scientific community at ITGE Documentation Center.

Key words: Seismic, Deep reflexion, Earth crust, Pyrenees.

RESUME

Les profils de sismique de réflexion profonde sont la meilleure façon de connaître la constitution de la Croûte terrestre; avec ce propos, l'Espagne a préparé le Programme ESCI.

L'Institut Technologique GéoMinière de l'Espagne a participé en collaboration avec un groupe espagnol et français, dans le Project ECORS-PYRENEES, dans lequel a été traversé par première fois une grande chaîne de montagnes avec un profil sismique de réflexion. Les résultats sont de bonne qualité, permettant vérifier les différentes hypothèses sur la formation des Pyrénées.

Dans cette communication sont exposés tres succinctement les principaux résultats de ce profil et ses opérations complémentaires. Les documents pris pendant le Projet, sont mis a disposition de la communauté scientifique dans le Centre de Documentation de l'ITGE.

Mots clef: Sismique, Réflexion profonde, Croûte terrestre, Pyrénées.

(*) Servicio de Geofísica del ITGE.

INTRODUCCION

En estas fechas se cumplen los plazos establecidos para las condiciones de confidencialidad de todo tipo de datos obtenidos en el Proyecto ECORS-PIRINEOS. La intención de esta comunicación es dar a conocer cuáles son esos datos y ponerlos a disposición de cuantos científicos españoles deseen usarlos, cumpliendo así uno de los objetivos del Instituto Tecnológico Geominero de España.

Próximamente esperamos que tenga lugar la publicación del Informe final de este Proyecto, donde se recogen detalladamente todos los experimentos realizados en el mismo. No es nuestra intención pretender suplir, siquiera sea a efectos de resumen, el contenido de ese Informe, sino más bien de dar una visión rápida del conjunto, para que las personas interesadas puedan localizar de manera más eficaz la información concreta.

Por otra parte, vamos a comentar algunos aspectos del planteamiento y de la organización de este tipo de actividades, por cuanto son a veces menos conocidos por las personas que no se ven en ellos directamente involucradas, y pueden tener una incidencia importante en la buena consecución de los objetivos científicos. Además, se pretende ofrecer a los lectores geofísicos algunos breves detalles específicos de la toma de datos en campo, que es uno de los aspectos más singulares de este Proyecto, y de los que se puede concluir que el modo de hacer «industrial» en la sísmica de reflexión se ha manifestado perfectamente válido para perfiles profundos en cadenas montañosas, aportando mejor información que otras combinaciones de dispositivos menos usuales.

Los trabajos del perfil ECORS-PIRINEOS han sido realizados en equipo. Algunas de las ideas aquí expuestas son originales de un grupo de personas que han dedicado su tiempo y conocimientos a este Proyecto: a ellos pido su comprensión y benevolencia por haberme atrevido a sacarlas de su contexto original y presentarlas de forma tan fugaz. Como los colectivos también tienen nombre y apellidos, me ha parecido justo el dar una relación de los miembros del equipo, junto con una bibliografía, en reconocimiento de los méritos individuales, que, insisto, en ningún momento pretendo usurpar, sino precisamente contribuir a su divulgación.

INTERES DE LOS PERFILES SISMICOS PROFUNDOS

Después de los esfuerzos realizados en los últimos decenios, para estudiar la geología de los fondos oceánicos, se ha adquirido una nueva visión de la dinámica del globo terrestre, habiéndose logrado una mejor comprensión de las áreas oceánicas que de las continentales, a pesar del conocimiento más detallado que tenemos de la superficie de los continentes.

Hasta ahora se disponía de una cierta información de los primeros kilómetros de corteza, debido a la investigación de hidrocarburos, pero desde ahí hasta la discontinuidad del Moho, la información es muy escasa, y se debe a algunos pocos perfiles de sísmica de refracción.

Esto ha hecho que la Unión Internacional de Ciencias Geológicas y la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica hayan decidido fomentar los estudios orientados al mejor conocimiento de la geología profunda en áreas continentales, que son el verdadero archivo geológico de la Tierra.

Los informes del Proyecto Geodinámico Internacional y de la European Seismological Commission, revelan la existencia de una importante actividad de obtención de datos sísmicos profundos, en la que participan una gran cantidad de países: Finlandia, Alemania, Italia, Noruega, URSS, Rumanía, Portugal, Reino Unido, Suiza, Yugoslavia, España, etc.

Varios países como Estados Unidos de América, URSS, Alemania, Canadá, Australia y Gran Bretaña, han iniciado hace más de dos decenios el estudio sistemático de sus cortezas continentales, con la idea de que el mejor conocimiento de los mecanismos de formación de las cuencas sedimentarias, de las fosas tectónicas, de las cadenas montañosas y de los márgenes continentales, redundara en beneficio de las prospecciones de los recursos económicos como hidrocarburos, carbón, geotermia, etc.

Estos trabajos están organizados por las instituciones geofísicas y geológicas de los respectivos países, con una fuerte participación de las Universidades. El método más empleado es el de refracción profunda, registrando perfiles de centenares de kilómetros con estaciones separadas centenares de metros.

Aparte de la actividad individual de cada país, existe un proyecto comunitario: el European Geotraverse Project, coordinado a través de un Comité surgido de la European Science Foundation, y que pretende, desde 1982, llevar a cabo un vasto programa cuyo objetivo es obtener una sección de unos 4.000 kilómetros norte-sur, a través de Europa, que permita entender cómo se formó la litosfera continental, su evolución y la formación e interdependencia de las distintas zonas geológicas, llegando hasta el nivel del manto. El proyecto contempla no sólo la utilización del método sísmico, sino del magnético, eléctrico y la aplicación de técnicas multidisciplinarias para mejor interpretación de los resultados (estudios tectónicos, estratigráficos, petrológicos, sedimentológicos, geocronológicos, paleomagnéticos, etc.). Se complementa, además, con programas específicos para estudios del manto superior, y de anisotropía, como la propuesta del proyecto ILIAS (Iberian Lithospheric Anisotropic Experiment)).

Sin embargo, la evolución sufrida por la tecnología de la sísmica de reflexión en los últimos años ha hecho de este método el mejor para la obtención de imágenes del subsuelo. Varios países hace años que tienen sus programas propios de sísmica de reflexión profunda: DEKORP de Alemania, ECORS de Francia, COCORP de Estados Unidos, CROP de Italia, y actualmente ESCI (Estudios Sísmicos en la Corteza Ibérica) de España. Estos programas pretenden, desde 1986, ser aglutinados en Europa, al menos cuando la realización de un perfil concierne a más de un país, en el proyecto comunitario EURO-LITH.

Desde 1975 se han realizado más de 4.000 kilómetros de perfiles de sísmica de reflexión profunda, siendo el programa COCORP (Consortium for Continental Reflection Profiling), de Estados Unidos, el más avanzado. Las conclusiones hasta ahora obtenidas no han hecho más que confirmar repetidamente la esperanza puesta en este tipo de información del subsuelo: evidencias de los movimientos continentales, existencia de cuencas sedimentarias bajo el Precámbrico, seguimiento de fallas hasta más de 24 kilómetros de profundidad, delimitación de cuerpos magmáticos, etc., todas ellas con inmediatas consecuencias en numerosas aplicaciones de desarrollo industrial.

No todos los avances conseguidos en el uso de la reflexión, en su utilización para prospección de hidrocarburos, son perfectamente trasplantables al estudio de registros profundos. Esto conduce a una doble vertiente investigadora: desarrollo metodológico de la sísmica de reflexión profunda y conocimiento de la constitución de la corteza terrestre, con sus implicaciones tanto en Geología Fundamental como en Geología Aplicada.

No es infrecuente que surja el cuestionar la aportación que este tipo de trabajos puede tener sobre proyectos o programas nacionales de investigación de recursos naturales, y ello quizá sea debido a que precisamente nuestro conocimiento sobre la relación entre la constitución y morfología de la corteza profunda y lo que ocurre en los primeros centenares de metros es prácticamente nulo, y se mueve sólo a nivel de hipótesis. De ahí que el primer interés de los perfiles sísmicos profundos es precisamente el abrir la posibilidad a pasar de las hipótesis a las tesis, y únicamente después podremos decir cuál es la importancia o la aportación de este conocimiento en geología económica.

No obstante, a priori, se pueden hacer algunas consideraciones:

- Respecto a la *prospección de hidrocarburos*, puede llegar a conocerse mejor las zonas profundas de las cuencas sedimentarias, así como la posibilidad de detectar la presencia de sedimentos bajo series cristalinas o metamórficas, sobre todo en la proximidad de cabalgamientos; asimismo, la mejor comprensión de los mecanismos de formación de las cadenas montañosas y de las cuencas sedimentarias, tiene una aplicación directa en la prospección de hidrocarburos.
- Respecto de los *recursos geotérmicos*, el conocimiento de la litología, estructuras y fallas de la corteza superior, es la base indispensable para la exploración de estos recursos.
- Para la *prospección de carbón*, el interés se centra en la detección de cuencas profundas, para su explotación por gasificación «in situ».
- En *exploración minera* se trata de comprender la relación entre la estructura de la corteza inferior y la superior, sobre todo en sus primeros quinientos metros. Ello puede dar

lugar a conocer los mecanismos preferenciales de concentraciones metálicas en terrenos hercínicos y sus coberteras, merced al conocimiento de los accidentes tectónicos del subsuelo y la caracterización específica de los dominios cristalinos.

— *Otras aplicaciones* pueden centrarse en la localización de fallas responsables de movimientos sísmicos, zonas preferentes de localización de almacenamientos subterráneos, etcétera.

Por lo que respecta a los Pirineos, las cuestiones planteadas a intentar resolver por el perfil sísmico, tratan de conocer la modalidad de engrosamiento de la corteza, que, alcanzando hasta los 50 kilómetros, se ignora actualmente cuál es su geometría profunda; no sabemos cómo prolongar en profundidad los cabalgamientos conocidos en superficie, no sabemos cómo se conjuga la deformación compresiva con el enraizamiento de la gran falla norpirenáica, etc.

ASPECTOS ORGANIZATIVOS Y ADMINISTRATIVOS

El Proyecto ECORS-PIRINEOS se ha llevado a cabo con el soporte técnico y económico de un conjunto de organismos e instituciones, mediante la formulación de un Convenio Hispano-Francés y otro Convenio entre participantes españoles.

El Convenio Hispano - Francés o Convención 8672 surge al amparo del Convenio de Cooperación Científica y Técnica, suscrito entre los Gobiernos del Estado español y la República francesa, el 28 de mayo de 1974.

Las partes firmantes del Convenio son:

- * Por España:
 - La Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (actual CICYT).
 - El Instituto Geográfico Nacional.
 - El Instituto Geológico y Minero de España (actual ITGE).
 - La Empresa Nacional de Investigación y Explotación de Petróleo (actual REPSOL).
- * Por Francia:
 - L'Institut Français du Petrole en represen-

tación de un grupo formado por el IFP, INSU-CNRS, SNEA, ESSO REP.

En el Convenio se definen las condiciones de colaboración entre los organismos franceses y españoles para la realización de un perfil sísmico a través de los Pirineos.

Se establece la financiación a partes iguales de la totalidad de los trabajos, que es del orden de cuatrocientos millones de pesetas, disponiendo cada parte de copia de todas las cintas de datos, mapas, informes, etc., que se generen en el Proyecto.

Se acuerda la creación de tres unidades organizativas:

- * Comité de Coordinación Hispano-Francés, que asegura el seguimiento técnico y financiero de los trabajos.
- * Un operador por cada parte, encargado de la realización de las operaciones en su territorio.
- * Un Equipo de Perfil, encargado de presentar el programa de trabajos, del asesoramiento técnico y de velar por la calidad científica de los mismos, así como de la elaboración de la síntesis de los resultados.

Los datos obtenidos se acuerda clasificarlos en Científicos y Comerciales. Los datos científicos serán de propiedad común y libre disposición, mientras que para los datos comerciales se establecen limitaciones de uso durante cinco años (finalizando el 4 de noviembre de 1991). Se establecen, además, cláusulas de obligación de secreto, plazos y formas de divulgación.

Para llevar a cabo los trabajos entre las partes españolas, se firma un Convenio, en donde se establecen los porcentajes de participación en la financiación del Proyecto:

- REPSOL, 50 por 100.
- CICYT, 20 por 100.
- IGN, 15 por 100.
- ITGE, 15 por 100.

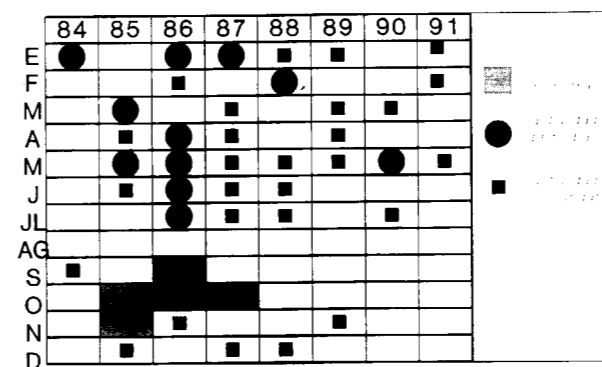
y el sistema de realización y explotación de los resultados.

Asimismo, se crean tres órganos de actuación:

- Comité de Dirección.
- Operador.
- Comité Científico.

de acuerdo con el sistema organizativo de la Convención 8672, fijándose las obligaciones y atribuciones de cada órgano.

Con esta estructura científico-administrativa, los trabajos se han desarrollado de acuerdo al calendario de la figura 1, que vamos a describir brevemente.



PROYECTO ECORS-PIRINEOS
CUADRO DE ACTIVIDADES

Figura 1.—Calendario de desarrollo del Proyecto ECORS-PIRINEOS.

Las primeras conversaciones formales para pedir la participación española en el proyecto ECORS tienen lugar en enero de 1984. A raíz de los contactos de este año, se preparó la Convención 8672 en marzo de 1985, que, sin embargo, no es firmada hasta mayo de 1986. No obstante, durante el año 1985 se mantuvieron numerosas reuniones de trabajo entre técnicos de los organismos implicados, para decidir la localización del perfil, parámetros de registro y acciones complementarias para su interpretación. La más importante de estas actividades quizá fuera la elección «in situ» del trazado del perfil, por un grupo hispano-francés en mayo de 1985, posibilitando la realización del registro en territorio francés en octubre-noviembre del mismo año.

En enero de 1986 se firma el Convenio de Cooperación entre los organismos españoles, que, junto con la firma de la Convención, en mayo de ese año, permite el mejor funcionamiento de los numerosos Comités de trabajo, al tener ya un marco legal y formalmente establecido en que basar sus actuaciones: en abril se forma el Comi-

té de Dirección y de Coordinación españoles, en mayo se forma el Comité Científico del Perfil español, y en julio el Comité de Coordinación Hispano-Francés, lo que permite llevar a cabo la toma de datos en territorio español en septiembre-noviembre de 1986.

Durante 1987 la actividad de los distintos grupos es muy elevada, siendo de destacar las mantenidas en enero para el primer picado conjunto del perfil francés y la toma de datos complementarios de sísmica de gran ángulo en octubre.

En febrero de 1988 tiene lugar la primera publicación conjunta, en la revista *Nature*, no quedando más actividad pendiente de cumplir que la redacción del Informe final del Proyecto y el intercambio de la documentación adquirida.

A partir de estas fechas, son muy numerosas las publicaciones realizadas, ponencias presentadas a Congresos y Tesis doctorales a que han dado lugar los datos obtenidos, en el entorno de los grupos de trabajo implicados en el Proyecto. Estando, pues, ya las ideas lo suficientemente trabajadas, se acordó, en mayo de 1990, el inicio de la publicación de un Informe final, en español, que recogiera parte de estos estudios.

TRABAJOS REALIZADOS

En la figura 2 se indica la posición de los diversos trabajos realizados en el Proyecto. El objetivo principal lo constituyen el perfil de sísmica de reflexión PYR1 - PYR3 - PIR86, siendo todos los demás acciones complementarias realizadas con diversos objetivos que se indicarán más adelante. El conjunto de acciones desarrolladas en torno de la falla norpirenáica, por su especial complejidad, se encuentra además recogido en la figura 3. Además de los estudios indicados en estas figuras, se llevó a cabo una cobertura gravimétrica del perfil principal.

PARAMETROS DE REGISTRO DEL PERFIL ECORS-PIRINEOS

El trazado del perfil consta de tres segmentos:

- PYR1: 102 kilómetros en Francia.
- PYR3: 10 kilómetros para empalme con el perfil español.
- PIR86: 150 kilómetros en España.

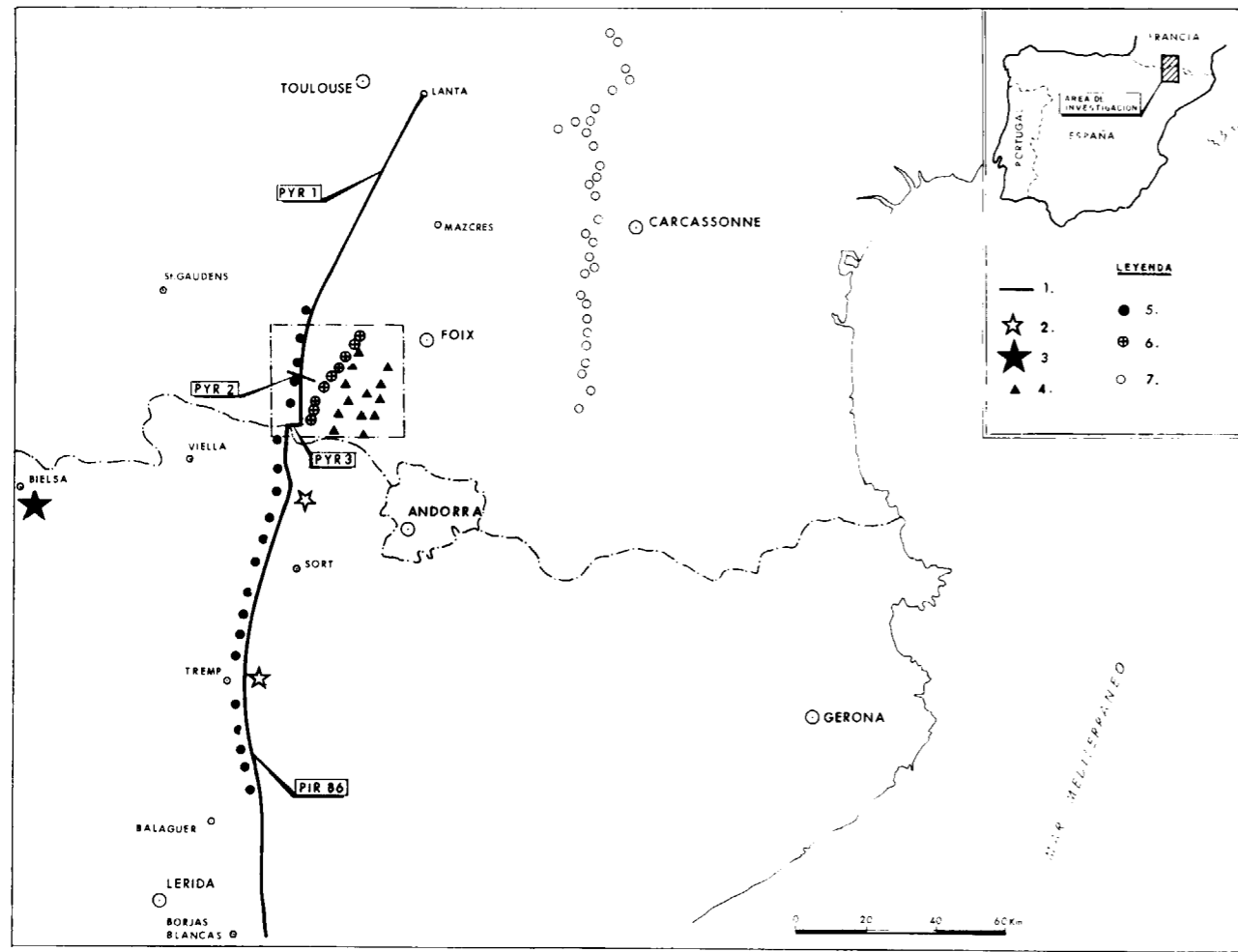


Figura 2.—Esquema general de situación de los registros sísmicos realizados.

1. Trazado del perfil de reflexión principal PYR1-PIR86.
 2. Tiros de refracción, registrados en estaciones 5.
 3. Tiro de reflexión de gran ángulo, registrado en estaciones 7.
 4. Tiros laterales, registrados en estaciones 6, y PYR1.
- (Estos tiros se describen en las claves 1 y 2 de la figura 3.)

Las características generales de cada segmento son las siguientes:

Perfil	ING.	INPT.	Fuente	Cobertura
PYR1 55 Km. Norte (Lanta-Daumazan)	80	480	explosivo	20
PYR1 25 Km. (Daumazan-Kercabanal)	40	240	explosivo	20
PYR1 22 Km. Sur (Kercabanal-Salau)	40	20	vibrosísmica	120
PYR3 (PT heliportados)	—	360	explosivo	—
PIR86 Norte (66 Km.)	60	120	explosivo	60
PIR86 Sur (84 Km.)	60	240	explosivo	30

ING: Distancia en metros entre estaciones de geófonos.
INPT: Distancia en metros entre puntos de tiro.

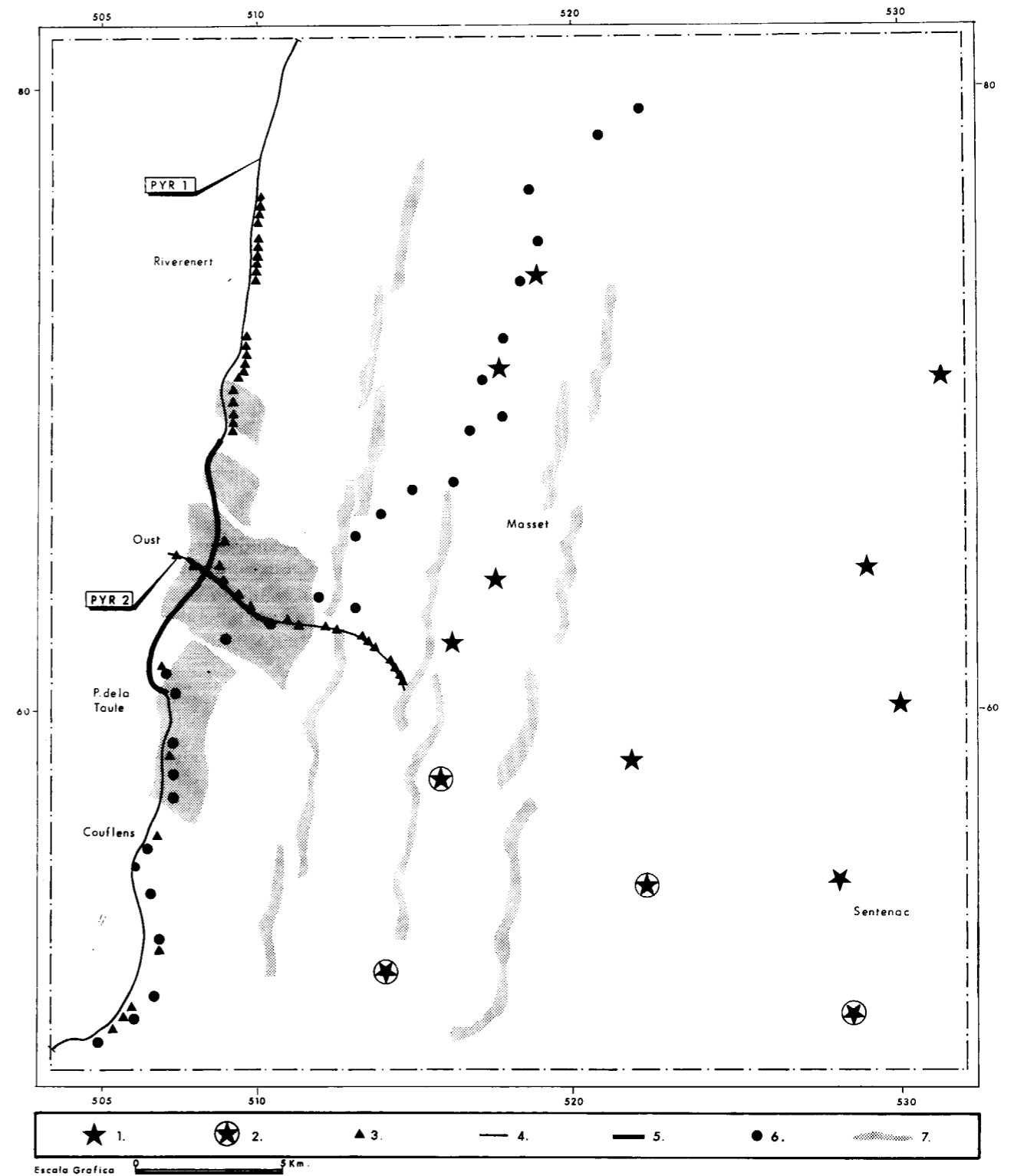


Figura 3.—Esquema de detalle de situación de registros en torno del perfil PYR2.

1. Tiros laterales registrados en dispositivo con clave 4 del perfil principal.
2. Tiros laterales registrados en estaciones 6.
3. Tiros de PYR1 registrados en dispositivo fijo 5 de PYR2 y tiros de PYR2 registrados en dispositivo fijo 5 de PYR1.
4. Zonas de puntos de reflexión de tiros 1 y 3.

Se emplearon geófonos de 10 Hz, en dispositivo de 18 en línea, con distancia de 2.2 m. en PYR (38 m. de array) y 3.3 m. en PIR (57 m. de array).

El offset mínimo fue de 80 m. en PYR y de 120 m. en PIR, con longitudes totales de dispositivo que llegaron hasta los 19 kilómetros, con tiro en el centro.

El registro fue llevado a cabo por CGG (Compañía General de Geofísica), con un registrador Sercel SN 348 de 240 trazas. La longitud de registro osciló entre 16 y 25 segundos en los perfiles PYR, y fue de 25 segundos en el PIR, con muestreo uniforme de 4 milisegundos. Se utilizó un filtro pasa baja de 10 Hz en Francia y de 8 Hz en España, y pasa alta de 62.5 Hz en ambos segmentos.

Tanto en la parte francesa, como en la española, la utilización de explosivos se hizo empleando cargas de 20 kilogramos, a 25 m. de profundidad, si bien fue necesario en muchos de los emplazamientos la realización de dos o tres sondeos, con 10 ó 5 kilogramos, a fin de respetar las normas de seguridad por proximidad a casas, líneas, etc.

La zona registrada por vibrosísmica empleó 6 vibroseis simultáneos, con una señal de 60 segundos en la banda 10-40 Hz, y 15 segundos de registro útil, lo que supuso 75 segundos de grabación.

Uno de los aspectos más interesantes desde el punto de vista de metodología de toma de datos sísmicos de reflexión es la especial dificultad logística encontrada en la ejecución de un perfil continuo a través de una cadena montañosa importante. En efecto, las cotas de las estaciones van desde unos 300 m. s. n. m. hasta más de 2.200 m. de altitud.

Para la perforación se utilizaron 10 sondas en camión y 3 heliportadas en la zona francesa, y 8 en la parte española; de ellas, una montada sobre bulldozer y otra sobre buggy, lo que evitó el empleo de helicópteros y demostró una gran operatividad. Los rendimientos de perforación, variables con el tipo de roca, oscilaron en la parte española entre 7 y 18 m/hora, con una media de 9.6 m/hora.

Los rendimientos de explotación del perfil fueron del orden de 16 puntos de tiro/día en la sección francesa y 25.7 en la española, aunque la

variación de la intertraza y de la distancia entre puntos de tiro hace que los avances en kilómetro por día oscilen fuertemente (por ejemplo, 7.85 en la porción norte del PYR, 3.57 en su zona media y un promedio de 4.1 en el PIR (4 en montaña y 6 en llano).

Los diferentes rendimientos obtenidos en la porción francesa fueron debidos a la complicada labor de registro simultáneo en varios dispositivos y con varios registradores, para la toma de datos de las acciones complementarias llevadas a cabo en la zona de la FNP, como se comentará más adelante.

El empleo de vibrosísmica, si bien evita la servidumbre de las sondas perforadoras y permite acercarse más a núcleos urbanos, aspecto no desdeñable en zonas de alta densidad de población, mantuvo el rendimiento en 3.14 kilómetros por día, pero no pueden conseguirse trazados tan rectos como con explosivos.

En la porción PIR fue notable el trabajo realizado para acondicionamiento de pistas de acceso en montaña, lo que requirió más de cuatro horas de trabajo de bulldozer por kilómetro de perfil. Asimismo, fue importante el número de estaciones que hubo que reimplantar (más del 40 por 100), debido a su pérdida por variaciones de trazado y «erosión» del numeroso turismo de la zona.

Los equipos de personal empleados fueron, asimismo, considerables: en la porción española se utilizaron 8 técnicos, 44 obreros especialistas, 23 conductores, 68 peones y 55 vehículos.

El clima fue también causa de especiales dificultades, sobre todo debido a las tormentas en alta montaña.

La experiencia adquirida en la aplicación de una metodología convencional para adaptarse al paso de una cadena montañosa de la envergadura de los Pirineos, puede concretarse en los siguientes puntos:

- Sólo la utilización de explosivos permite adaptarse a las singularidades topográficas de estos perfiles. En cuanto a la preferencia y economía del uso de helicópteros sobre otro transporte para las máquinas de sondeo, las experiencias francesas y españolas difieren: el uso de vehículos tipo buggy ha dado en la vertiente española resultados plenamente

satisfactorios, permitiendo trazados del perfil tan rectilíneos como hubiera podido hacerse con helicópteros y con mayor economía e independencia de las condiciones climatológicas.

- El mantenimiento de las normas de seguridad para uso de explosivos en zonas pobladas hace que tenga que duplicarse o triplicarse el número de sondeos y tiros. En vez de hacerlos próximos entre sí, lo que perjudica la calidad de los tiros posteriores al primero, es más conveniente desplazar el punto de tiro en un radio de 100 m., lo que afecta poco a los resultados, dada la longitud del dispositivo de escucha.
- Es posible que la realización de tiros complementarios, laterales, escuchas cruzadas, etc., serían de mayor utilidad si se hicieran a posteriori de obtener el perfil principal, ya que permitiría optimizar su localización. Por otra parte, los perfiles de escucha con longitud inferior a la profundidad de los reflectores son de muy poca utilidad. La obtención de datos en cobertura simple también ha demostrado ser poco efectiva.

PARAMETROS DE PROCESO

En los parámetros de registro existe una cierta variación según los sectores, impuesta en ocasiones por la naturaleza del terreno, y que en parte ha servido de experimentación de las distintas modalidades. El proceso de datos para obtención de las secciones sísmicas ha sido más uniforme para todo el perfil, habiéndose llevado a cabo en el centro de procesos de la CGG en Massy (Francia).

Las correcciones de altimetría, que suponen un capítulo muy importante para este tipo de perfiles, se han realizado con velocidades que van desde los 2.000 m/s. a los 5.500 m/s.

La secuencia ha sido:

- Demultiplexage.
- Recuperación de amplitudes.
- Paso a muestreo de 8 ms.
- Mutting.
- Colección de CDP por slalom.
- Correcciones estáticas.

- Análisis de velocidad por velocidad constante (en stack de 6 s. para 8 velocidades y en grupos de 24 CDP de 20 s. para 18 velocidades).
- Corrección dinámica.
- Correcciones estáticas residuales automáticas.
- Filtro variable:

PYR
0-1.5 s.=12-40 Hz.
2.5-4 s.=10-40 Hz.
6-16 s.=7-35 Hz.

PIR
0-1 s.=17-39 Hz.
2.2-3.5 s.=14-39 Hz.
6-25 s.=6-39 Hz.

- Adición según coberturas, que no son completas hasta unos 1.6 s., debido a las leyes de mutting aplicadas.
- Igualación.
- Reducción a DP.
- Migración.
- En algunas secciones se ha efectuado una deconvolución con operador de 120 ms.

Las salidas analógicas standard se han hecho en escala horizontal 1/40.000, vertical de 1 s.=5 cm. y velocidad de homogeneidad de 4.000 metros por segundo, existiendo reducciones a escala 1/80.000, y una variedad de secciones intermedias de trazas próximas y lejanas, cuya relación completa se dará más adelante.

Aunque el proceso puede considerarse standard dentro de las secciones sísmicas de reflexión, se han encontrado especiales dificultades, de las que quizá las más importantes sean las debidas a la corrección estática, ante la imposibilidad de adoptar un solo plano de referencia para todo el perfil. Además, la diferencia de carácter entre las reflexiones superficiales y profundas ha llevado a efectuar pruebas de correcciones residuales sólo con trazas próximas o con lejanas, siendo posible que al contemplar todas las trazas quede perjudicada, sobre todo la porción montañosa de las secciones.

La migración de secciones de 20 s. también supone ciertos problemas, ante la imposibilidad de verificar un control riguroso de velocidades, y la amplia zona de Fresnel existente a estas pro-

fundidades de registro, que hace que haya hipérbolas de difracción de origen lateral a la sección, que, o bien no se corrigen, o se convierten en falsos reflectores.

En cualquier caso, este perfil es el primero que atraviesa completamente una cadena orogénica, y la calidad obtenida pueda calificarse de muy buena.

RESULTADOS DEL PERFIL SISMICO DE REFLEXION

Los datos geofísicos conocidos, referentes de forma global a los Pirineos, antes de la realización del perfil ECORS, son, básicamente:

- A través de mediciones de paleomagnetismo, está demostrada la rotación de 35° en sentido antihorario de la Península Ibérica respecto a la placa europea.
- Las medidas de sísmica de refracción permiten apreciar que, mientras que en la zona axial, el Moho se sitúa a 50 kilómetros de profundidad en la parte central y 30 en los extremos, en la zona norte no pasa de 30 kilómetros, situándose, pues, la mayor diferencia en el límite marcado por la falla norpirenáica.
- Las anomalías gravimétricas hablan de un posible abombamiento del manto en el Golfo de Vizcaya, que continúa bajo la corteza continental en la cuenca de Aquitania; asimismo, unas fuertes anomalías negativas en la zona axial podrían deberse a un aumento del espesor de la corteza de hasta 50 kilómetros.

La cadena pirenaica tiene una geometría general en forma de abanico, lo que origina vergencias norte en la zona norte y sur en la zona sur, con una característica poco corriente de variaciones muy rápidas en las condiciones de esfuerzos y metamorfismo. Existen diversas hipótesis sobre la formación de los Pirineos, y en particular sobre el significado de la falla norpirenáica, cuya descripción detallada no es objeto de esta comunicación, y que quizá puedan sintetizarse en cuatro grupos:

- a) Preconiza que la cadena se formó como consecuencia de una subducción hacia el sur de la placa europea, tras el giro de la placa ibérica en torno del golfo de Vizcaya.

- b) Defiende un modelo de tectónica de placa delgada, dando a la falla norpirenáica un débil buzamiento que produce un desplazamiento de 60 kilómetros en profundidad.
- c) Sobre el mismo modelo de placa delgada se quiere explicar el engrosamiento de la zona axial por superficies de deslizamiento que llegan al Moho.
- d) Finalmente, otros piensan que las fallas superficiales tienen lugar hasta una zona dúctil de la corteza, dando un modelo de esfuerzos no homogéneos; la diferente profundidad del Moho vendría dada por una asimetría tectónica en el Cretácico, precedente del engrosamiento Cenozoico.

Aunque los problemas a resolver puedan ser, quizá, tantos como autores trabajan en estos temas, en líneas generales los objetivos a intentar aclarar con la información sísmica de reflexión serían:

- * Precisar la extensión y estructuración profunda de las series anteriores al Triásico, verificando la existencia de cuencas primarias susceptibles de interés minero en la cuenca de Aquitania, así como establecer una correlación entre el espesor sedimentario y el espesor de corteza, lo que permitiría hacer reconstituciones geodinámicas correctas.
- * Verificación de la homogeneidad de la corteza y posicionamientos de sus principales discontinuidades.
- * Obtener datos que permitan entender la geometría de la zona norte y su relación con la falla norpirenáica.
- * Conocer la geometría de las cuencas cretácicas, parcialmente ocultas por los cabalgamientos norte.
- * Explicar la geometría de las unidades vergentes hacia el sur.
- * Conocer la geometría de las raíces del basamento hercínico.
- * Conocer la geometría de las discontinuidades en el Moho.

Una vez procesadas las secciones sísmicas, se procedió a dos tipos fundamentales de análisis geofísico:

- * el picado de los reflectores contenidos en las mismas,

- * y el establecimiento de las diversas facies sísmicas,

actuando para ello por equipos de trabajo conjuntos y cruzados, e incluso empleando técnicas de picado automático independientes, de tal forma que las hipótesis previas no condicionaran la forma de ver los resultados. La sección picada y sus facies se representan en la figura 4, y el modelo de una posible solución consistente con los datos, en la figura 5.

En la sección picada se observan en la corteza reflectores bien definidos, que marcan el aspecto de estructura en abanico, con interferencias en la zona central, así como una clara estructura laminar de la corteza en el resto de la sección.

Las series sedimentarias quedan bien definidas en sus límites inferiores, buzando hacia la parte central de la cadena.

La parte inferior de la corteza ibérica comienza hacia los 10 s. y buza hacia el norte, alcanzando los 20 s. en la zona axial, interpretándose su base como la discontinuidad del Moho. En la porción norte, bajo la cuenca de Aquitania, se interpreta una corteza más superficial y de mayor potencia, situándose su parte inferior entre los 7 y 11 s., con buzamiento hacia la zona axial.

Los reflectores asignados a la corteza media mantienen sus características en toda la sección, aunque con mayor potencia en la placa ibérica.

Un resultado notable del perfil es la observación

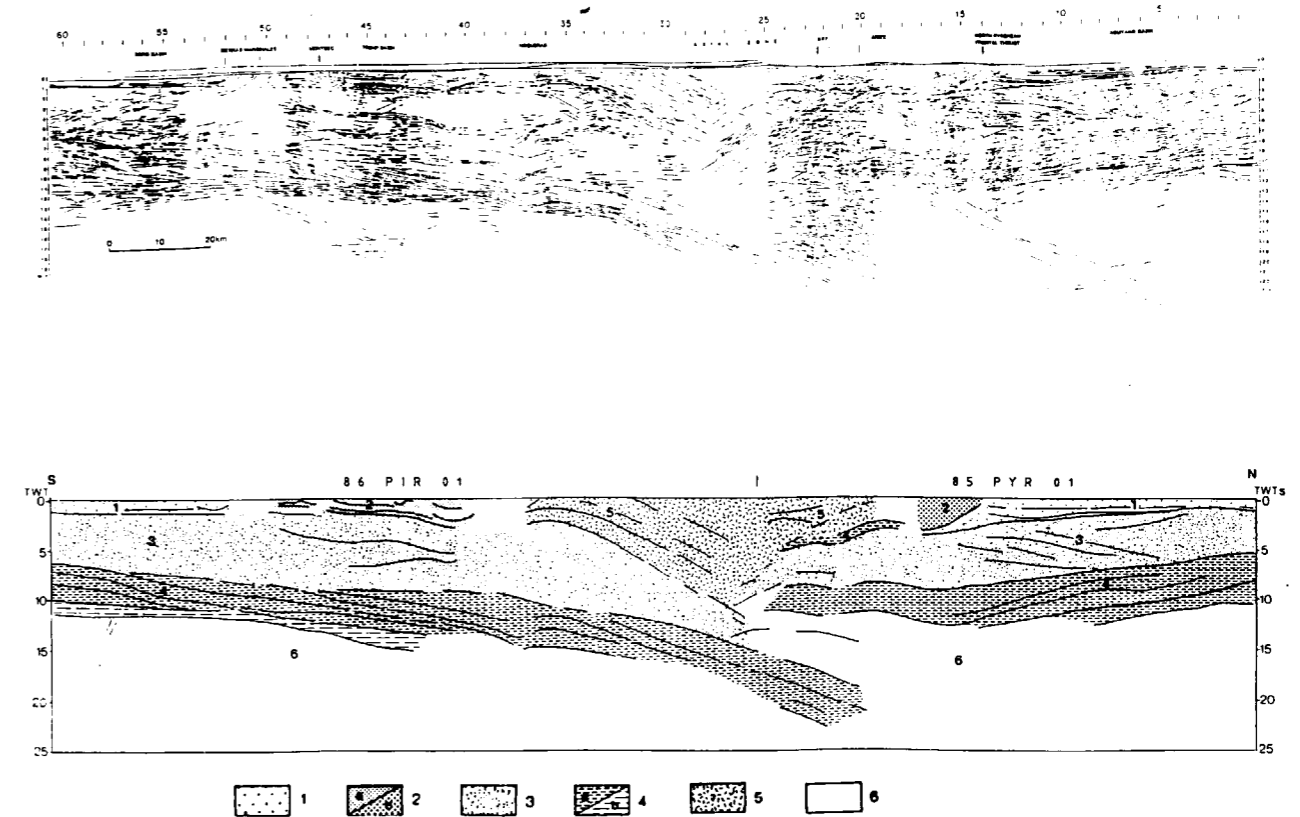


Figura 4.—Parte superior: Sección picada del perfil ECORS-PIRENEOS. Parte inferior: Facies sísmicas.

1. Cuencas de Antepaís.
2. Unidades estructurales de cobertera.
3. Zócalo de las Cuencas de Antepaís y de las unidades estructurales de cobertera.
4. Corteza inferior.
5. Unidades estructurales de Zócalo. Zona Axial y Macizos Norpirenaicos.
6. Manto Superior.

(Fuente: Equipo de Perfil)

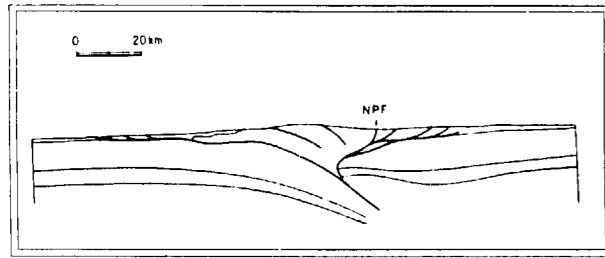


Figura 5.—Esquema interpretativo del perfil ECORS-PIRINEOS.

(Fuente: Equipo de Perfil)

de reflectores con buzamiento predominante hacia el norte, en la zona axial. En la zona de la falla norpirenaica existen dos tipos de reflectores: los más superficiales, hasta 7 s., indican buzamientos sur, y los profundos, hasta 20 s., se orientan hacia el norte. De su interpretación depende la geometría que pueda otorgarse a la falla. En el modelo más ampliamente aceptado por el equipo de Perfil ECORS, el primer grupo de reflectores se adjudica a la placa europea, mientras que el profundo se adjudica a la ibérica, lo que da una gran deformación al trazado de la falla en profundidad.

Otras cuestiones que pueden distinguirse en la sección picada son:

* La cobertura sedimentaria mesozoica de la cuenca del Ebro se desarrolla hasta las sierras Marginales. La cuenca de Tremp es alóctona y cabalga sobre un autóctono no deformado (reflectores horizontales) del Eoceno. La parte superior del Paleozoico, paralela a la base de la corteza (Moho) buza progresivamente hacia el norte. En la cuenca de Aquitania se vuelve a encontrar la inflexión de la placa europea en su proximidad de los Pirineos, que permite el desarrollo de una cuenca de flexura.

* En el conjunto de los macizos norpirenaicos (Arize, Trois Seigneurs), el alóctono ha sido transportado hacia el norte a favor de un cabalgamiento que parece cizallar la falla norpirenaica. En la zona axial, las dos familias de reflectores con pendientes hacia el norte y hacia el sur, convergentes, marcan la doble vergencia de los cabalgamientos superficia-

les. En profundidad, sólo restan los buzamientos norte, indicativos de que la placa Ibérica subduce a la Europea.

La calidad de los datos obtenidos permite confirmar la diferencia de espesores de corteza entre ambas placas. Por otra parte, el modelo de subducción de la placa Europea y el modelo de falla de bajo ángulo de buzamiento no parecen confirmarse por la geometría de los reflectores profundos en la zona axial ni por la disposición del Moho bajo la cuenca de Aquitania. Los modelos de placa delgada y de falla verticalizada tampoco pueden identificarse con la sección sísmica, ya que esta evidencia la diferencia de potencias de corteza en las distintas placas.

La versión presentada por el grupo ECORS, aunque se ajusta a los datos geofísicos disponibles, tampoco es la única posible, aunque sí la más probable.

ACCIONES COMPLEMENTARIAS

Desde los comienzos de la planificación de los trabajos a realizar en el perfil ECORS-PIRINEOS se contempló la necesidad de efectuar una serie de actividades complementarias al perfil sísmico propiamente dicho.

La concreción de qué tipo de actividades deberían realizarse, por quién y en dónde, ha sido uno de los temas más controvertidos entre todos los participantes.

La necesidad de llevar a cabo estos trabajos complementarios surgió como consecuencia de varios tipos de planteamientos:

A) Por una parte, el temor de que por la limitación de energía emitida por la vibrosísmica, no pudieran obtenerse buenas imágenes de los reflectores profundos, se consideró conveniente simultanear el registro con fuentes explosivas, aunque fuera en cobertura pequeña. Este tipo de acción se llevó a cabo en la toma de datos del sector sur del perfil PYR1, efectuando registros con explosivos cada 24 trazas, obteniendo una sección en cobertura 5.

Por otro lado, la orientación del perfil es norte-sur, existiendo en la zona axial y norpirenaica una orientación de estructuras

este-oeste y muy verticalizadas. A fin de obtener una mejor visión lateral de las estructuras, evitando la posible perturbación de las trayectorias en una explotación exclusiva norte-sur, se contempló la conveniencia de efectuar:

- B) Un perfil ortogonal al principal, perfil PYR2, en el que se registraron:
- B-1) El mismo perfil PYR2 en explotación normal.
 - B-2) Parte de los tiros dados en PYR1, sobre un dispositivo fijo en PYR2 (tiros de clave 3 sobre PYR1 en la fig. 3).
 - B-3) Los tiros dados en PYR2 se registraron, además, en un dispositivo fijo sobre PYR1, obteniéndose en el cruce de ambos perfiles un área de 4×4 kilómetros de puntos de reflexión (tiros de clave 3 sobre PYR2 en fig. 3).
- C) Tiros laterales, escuchados sobre:
- C-1) Dispositivos del PYR1 (tiros de clave 1 en fig. 3).
 - C-2) Estaciones sismométricas independientes (tiros de clave 2 en fig. 3).
- D) Sísmica de refracción y de gran ángulo (tiros de clave 2 y 3 de fig. 2).
- E) Gravimetría.
- F) Otros tiros complementarios fueron los realizados en el perfil PYR3 y escuchados en un dispositivo del IFP situado en el PYR1.

El análisis y descripción de los resultados obtenidos en estas acciones complementarias ha ocupado a los miembros de Equipo de Perfil casi en mayor grado, si cabe, que el de los del perfil principal de sísmica de reflexión.

En las acciones B), el perfil PYR2 tiene una longitud de 9.4 kilómetros, dirección este-oeste, cruzando al PYR1 en las estaciones 645-646, y está formado por 48 trazas a 80 m., registradas por un Sercel SN338, junto con 35 trazas a 160 m., registradas por un Myriaseis, ambos equipos del IFP. Los geófonos empleados fueron de 10 Hz, con 18 unidades separadas 8.8 m. (150 m. de array). La explotación normal de este perfil estuvo formada por tiros cada 320 m. de 20 kilogra-

mos, registrados durante 16 s., con muestreo de 4 ms. en la banda 16-75 Hz sobre el Myriaseis y durante 24 s. en la banda 10-62.5 Hz sobre el SN338, logrando una cobertura 20, además de su utilización para escucha de los otros tiros que es aquí descrita.

Del registro de reflexión normal del perfil longitudinal PYR2 se concluye que en el extremo oeste del dispositivo la ausencia de reflectores es de igual estilo que la obtenida con vibrosísmica, por lo que no es probable que el carácter de menor presencia de reflexiones en esta porción de la sección se deba a la naturaleza de la fuente empleada; en la parte este se observan claros reflectores, lo que indica una notable tridimensionalidad de las estructuras.

De los registros efectuados sobre PYR1 de los tiros dado en PYR2, se obtienen una serie de secciones en abanico, cuya conclusión incide en la heterogeneidad del subsuelo en esta área del Macizo de Trois Seigneurs, lo que con toda probabilidad hace que algunos reflectores sean en realidad difracciones de origen lateral. No obstante, la longitud del dispositivo de escucha resulta demasiado corta en función de la profundidad del objetivo.

Los tiros de *offset lateral C)* se sitúan según dos líneas norte-sur, a unos 8 y 20 kilómetros del PYR1, y distanciados unos 5 kilómetros entre ellos, junto con dos tiros complementarios en la proximidad de la falla norpirenaica. La carga empleada fue entre 50 y 100 kilogramos. Estos tiros se registraron tanto sobre el perfil PYR1 como sobre el PYR2, y estaciones sismológicas.

En la figura 3 se muestra la posición de los tiros laterales que fueron registrados en cobertura simple sobre los dispositivos del PYR1 desde la frontera hasta el macizo de L'Arize. Dada la gran profundidad del Moho en la porción sur del perfil, y a fin de evitar que el registro de sus reflexiones no fuera posible por la baja frecuencia de las mismas, se contempló la conveniencia de escuchar además los tiros laterales, con sismómetros de baja frecuencia. Para ello, utilizando los tiros más al sur, se situaron 25 sismómetros de tres componentes de 2 Hz para su registro.

El análisis de estas secciones, aparte de volver a poner de manifiesto la discutible eficacia general de estos experimentos o su mayor o menor aportación a la sección principal por debajo

de los 10 s., confirma la idea de fuertes buzamientos hacia el norte a nivel del Moho.

Los registros de *sísmica de refracción D)* se llevaron a cabo a fin de obtener información sobre la distribución de velocidades en la corteza, a lo largo del perfil ECORS-PIRINEOS. Para ello se efectuó en octubre de 1987 un perfil de refracción (fig. 2, tiros de clave 2) por colaboración entre la Universidad Complutense de Madrid, Universidad de Barcelona, Institut de Physique du Globe de París, y Centre Geophysique et Geologique de Montpellier, financiado por el grupo ECORS Hispano-Francés.

En un perfil norte-sur, se utilizaron 42 estaciones de tres componentes, con separación de 3 kilómetros, dando dos tiros de 800 kilogramos, situados en España, a 140 y 115 kilómetros del dispositivo (en Tremp y Esterrí d'Aneu). La llegada de ondas refractadas, para offset superior a los 40 kilómetros, no es evidente en estos registros probablemente debido a que la geometría de las capas se aleja de un modelo bidimensional y homogéneo. Por ello, la interpretación realizada sólo se refiere a la parte superior de la corteza, sin que tampoco suponga una notable aportación a los datos obtenidos en el perfil de sísmica de reflexión. La velocidad media calculada para la corteza ha sido de 6.3 Km/s.

Para tratar de obtener información en la zona de la falla norpirenáica, sobre la posibilidad de que el Moho profundo se prolongue bajo el superficial, al norte de la falla, se estableció un dispositivo con las 42 estaciones separadas 2 kilómetros entre sí, *registrado en abanico*, dando un tiro con offset lateral de 200 kilómetros y 1.500 kilogramos de explosivo (próximo a Bielsa, fig. 2, tiro de clave 3). Los puntos de reflexión se sitúan en la vertical del perfil PYR1 en la zona de la FNP. Este ensayo ha aportado datos que, conjugados con la gravimetría y sísmica de reflexión y el resto de los datos sísmicos, permite centrar dos hipótesis sobre la situación del Moho bajo la falla: con buzamiento norte, u horizontal.

En cuanto a la aportación de la *gravimetría E)*, se efectuó una ampliación de la cobertura gravimétrica existente en el área, según una banda de 25 kilómetros de anchura, que sigue el perfil PYR1. Se midieron para ello 409 nuevas estaciones gravimétricas en Francia, por el Centre Geologique et Geophysique de Montpellier, que se unieron a las disponibles por el BRGM.

A ellas se han añadido 232 nuevas mediciones efectuadas en España a lo largo del perfil PIR86, realizadas por el Instituto Geográfico Nacional y el Servei Geologic de Catalunya. Se han incorporado, además, otras estaciones existentes, hasta un total de 4.020 (2.638 en Francia y 1.382 en España), con las que se ha obtenido el mapa de anomalías de Bouguer de la figura 6, de una densidad de una estación cada 1/6 kilómetros cuadrados. Los valores están relacionados a la IGSN-

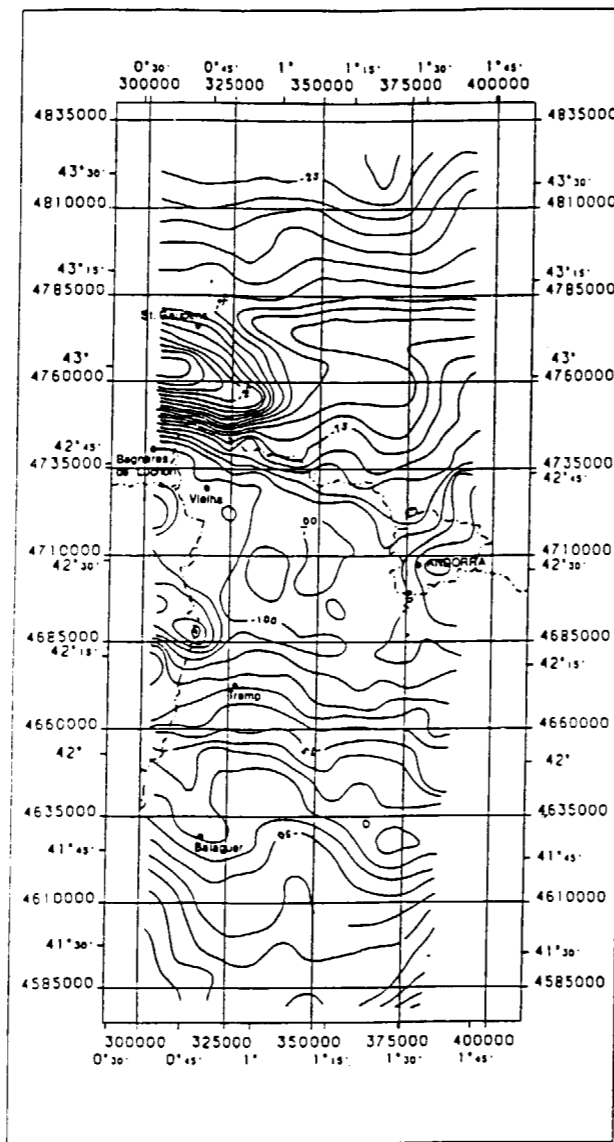


Figura 6.—Mapa de anomalías de Bouguer. (Fuente: Equipo de Perfil)

71, tomando como elipsoide de referencia el GRS-67. Los valores de las cotas comportan un error de hasta 25 m. para algunas estaciones levantadas sobre mapa topográfico. La densidad de reducción es de 2.67 g/cm³, llevando la corrección topográfica hasta 167 kilómetros. El error medio estimado es de 3 mGal.

A partir de una banda de 20 kilómetros de anchura en torno al perfil sísmico, se ha formado un único perfil por proyección de las medidas, sobre el que se han efectuado varias interpretaciones por modelización. De ellos se deduce la necesidad de la existencia en la placa Ibérica de una corteza intermedia de alta densidad, así como un grosor bajo la zona axial de unos 65 kilómetros; otras aportaciones de la gravimetría se refieren a los posibles límites norte de la corteza Ibérica y la existencia de cuerpos densos, probablemente debidos a rocas de la corteza inferior.

PARTICIPANTES

Pretender hacer una relación completa de las personas que han colaborado en las diferentes actividades del perfil ECORS-PIRINEOS, es una candidatura segura a la omisión involuntaria. El no mencionar a ninguna, sería una incorrección imperdonable. Expresando, por tanto, mis disculpas a los omitidos, el Equipo de Perfil de estos trabajos ha estado constituido por los siguientes científicos:

- INT.: Distancia entre trazas.
- COB.: Cobertura.
- REG.: Registrador sísmico empleado.
- FUEN.: Fuente de energía.

* SECCIONES del perfil PYR1 en escala horizontal 1:40.000 y vertical de 5 cm. por segundo.

Nombre	Estaciones	Proceso	Trazas	INT.	COB.	REG.	FUEN.
PL1/2S	795-1616	SATAN	todas	40	20	SN348	EXPL.
PL1/2STL			lejanas	40	10	SN348	EXPL.
PL1/2STP			próximas	40	10	SN348	EXPL.
PL2/2S	1496-2149	SATAN	todas	80	20	SN348	EXPL.
PL2/2STL			lejanas	80	10	SN348	EXPL.
PL2/2STP			próximas	80	10	SN348	EXPL.
PL3/2S	174- 863	SATAN	todas	40	120	SN348	VIBR.
PL3/2STL			lejanas	40	60	SN348	VIBR.
PL3/2STP			próximas	40	60	SN348	VIBR.

* Por parte española:

- REPSOL: J. Martínez, J. Rodríguez de Pedro, A. Garrido, M. Arana, P. Cámara, J. Aberger, A. Arrieta.
- CICYT: A. Udias, J. Fontbote, J. Gallart, E. Surinach, P. Santanach, J. Ríos.
- ITGE: J. Plata, J. del Valle, A. Barnolas.
- SGC: C. Puigdefábregas, X. Berastegui, E. Banda, J. Muñoz.
- IGN: J. Mezcúa, A. López Arroyo, E. Carreño, P. Parra.

* Por parte francesa:

- UNIVERSIDADES: P. Choukroune (Rennes), M. Daignieres (Montpellier), J. Deramond (Toulouse), J. Grasso (Grenoble), J. Marthelot (Strasbourg), M. Mattauer y M. Seguret (Montpellier, CNRS, INSU).
- IPG: H. Hirn.
- IFP: B. Damotte y F. Roure.
- SNEAP: M. Cazes, G. Toreilles, A. Villien.
- ESSO: F. Mediavila y A. Vauthier.

DOCUMENTACION DISPONIBLE

Se encuentra disponible para su consulta, en Centro de Documentación del ITGE, los siguientes documentos:

* SECCIONES del perfil PYR2 en escala horizontal 1:40.000 y vertical de 5 cm. por segundo.

Nombre	Estaciones	Proceso	Trazas	INT.	COB.	REG.	FUEN.
PL4/2S	101-186	SATAN	todas	160	20	MYR	EXPL.
PL4/2STL			lejanas	160	10	MYR	EXPL.
PL4/2STP			próximas	160	10	MYR	EXPL.
PL5/2S	101-186	SATAN	todas	80	20	SN338	EXPL.
PL5/2STL			lejanas	80	10	SN338	EXPL.
PL5/2STP			próximas	80	10	SN338	EXPL.

* SECCIONES del perfil PYR3 en escala horizontal 1:40.000 y vertical de 5 cm. por segundo.

Nombre	Estaciones	Proceso	Trazas	INT.	COB.	REG.	FUEN.
PL6/2S	100-212	SATAN	todas	60	40	SN348	EXPL.
PL6/2STL			lejanas	60	20	SN348	EXPL.
PL6/2STP			próximas	60	20	SN348	EXPL.

* SECCIONES del perfil PYR1 en escala horizontal 1:40.000 y vertical de 5 cm. por segundo.

Nombre	Estaciones	Proceso	Trazas	INT.	COB.	REG.	FUEN.
PL7/2B	208-732	STACK	todas	40	6	SN348	EXPL.
PL7/2BTL			lejanas	40	3	SN348	EXPL.
PL7/2BTP			próximas	40	3	SN348	EXPL.

* SECCIONES del perfil PYR1 en escala horizontal 1:80.000 y vertical de 2.5 cm. por segundo.

Nombre	Estaciones	Proceso
PYR1 PL8/4SC	174-2149	STACK ensamblaje
PYR1 PL8/4SM	174-2149	MIGRACION ensamblaje

* SECCIONES del perfil PIR86 en escala horizontal 1:80.000 y vertical de 2.5 cm. por segundo.

Nombre	Estaciones	Proceso	Trazas	INT.	COB.	REG.	FUEN.
PL1SRC	97-2597	SATAN-DECON	todas	60	30/60	SN348	EXPL.
PL2SRC	97-2597	SATAN				SN348	EXPL.
PL2MRC	97-2597	MIGRACION				SN348	EXPL.

* PLANO POSICION PUNTOS ESPEJO PYR 1/100.000.

* PLANO POSICION PUNTOS GEOFONO PYR1 1/100.000.

* PLANO POSICION PUNTOS ESPEJO PYR1 NORTE 1/50.000.

* PLANO POSICION PUNTOS ESPEJO PYR1 SUR 1/50.000.

* PLANO POSICION PUNTOS GEOFONO PIR86 1/200.000.

* SECCION PYR1 PUNTEADA 1/40.000.

DATOS DIGITALIZADOS:

- * BANDA MAGNETICA PIR86 STACK BRUTO.
- * BANDA MAGNETICA PIR86 STACK FILTRADO.
- * BANDA MAGNETICA PIR86 MIGRACION BRUTA.
- * BANDA MAGNETICA PIR86 MIGRACION FILTRADA.
- * BANDA MAGNETICA DE COORDENADAS PUNTOS TRAZA, PT Y CDP PIR86.
- * BANDAS MAGNETICAS DE PYR1 STACK.
- * BANDAS MAGNETICAS DE PYR1 MIGRACION.

REFERENCIAS

- BERASTEGUI, X.; GARCIA-SENZ, J. M., and LOSANTOS, M. (1990): *Tecto-sedimentary evolution of the Organyà extensional basin (central south Pyrenean unit, Spain) during the Lower Cretaceous*. Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 251.
- BOIS AND ECORS SCIENTIFIC PARTY (1990): *Major geodynamic processes studied from the ECORS deep seismic profiles in France and adjacent areas*. Tectonophysics, 173, 397-410.
- BOIS, C.; CAZES, M.; CHOUKROUNE, P.; GARIEL, O.; HIRN, A.; LE GALL, B.; LE FORT, J. P.; MATTE, P., y PINET, B. (in press): *Seismic reflection images of the Pre Mesozoic Crust in France and adjacent areas in the Pre Mesozoic terranes in France and correlative areas*. Springer.
- CHERY, J.; DAIGNIERES, M., and VILOTTE, J.-P. (1990): *How to build and asymmetric crustal root such as the Pyrenean one: a thermomechanical model*. Bull. Soc. Géol. France (8), t. VI, núm. 2, 211.
- CHOUKROUNE, P. (1990): *The ECORS program in the Pyrénées*. Int:roduction. Bull. Soc. Géol. France (8), t. VI, núm. 2, 209.
- CHOUKROUNE, P., and ECORS PYRENEES TEAM (1989a): *The ECORS Pyrenean Deep Seismic Profile. Reflection data and the overall structure of an orogenic belt*. Tectonics, 8 (1), 23-29.
- CHOUKROUNE, P., y GARRIDO, A. (1989): *Les Pyrénées vues par ECORS, 1989. La Recherche*, vol. 20, 132-135.
- CHOUKROUNE, P.; PINET, B.; ROURE, F., and CAZES, M. (1990): *Major Hercynian thrusts along the ECORS Pyrenees*. Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 313.
- CHOUKROUNE, R.; ROURE, F.; PINET, B., and ECORS PYRENEES TEAM (1990): *Main results of the ECORS Pyrenees profile*. Tectonophysics, 173, 411-423.
- DAIGNIERES, M.; CABISSOLE, B. DE; GALLART, J.; HIRN, A.; SURIÑACH, E., and TORNE, M. (1989): *Geophysical*

Constraints on the deep structure along the ECORS Pyrénées line. Tectonics, 8, 1051-1058.

DAVY, PH.; CHOUKROUNE, P., and SUZANNE, P. (1990): *Mechanical hypotheses of lithosphere deformation: application to the Pyrenean belt*. Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 219.

DEBROAS, E.-J. (1990): *The Albian-Cenomanian Flysch noir as witness for the Albian to Senonian structural evolution of the North Pyrenean zone in Bigorre (Hautes-Pyrénées, France)*. Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 273.

DERAMOND, J.; BABY, P.; SPECHT, M., and CROUZET, G. (1990): *Thrust geometry in the Ariegeoise North Pyrenean zone reconstruct using ECORS data*. Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 287.

DERAMOND, J.; GRAHAM, R. H.; HOSSAC, J. R.; BABY, P., and GROUZET, G. (1985): *Nouveau modèle de la chaîne des Pyrénées*. C. R. Acad. Sci. Paris, 301, 16, 1213-1216.

DE SAINT-BLANQUAT, M.; BRUNEL, M., and MATTAUER, M. (1986): *Les zones de cisaillement du massif du St. Barthélémy: Témoins probables de l'extension crustale d'âge Crétacé*. C. R. Acad. Sci. Paris, 303, 1339-1344.

DESEGAULX, P., and BRUNET, M.-F. (1990): *Tectonic subsidence of the Aquitaine basin since Cretaceous times*. Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 295.

DESEGAULX, P., and MORETTI, I. (1988): *Subsidence history of the Ebro Basin*. Journal of Geodynamics, 10, 9-24.

ECORS PYRENEES TEAM (1988): *Deep reflection seismic survey across an entire orogenic belt, the Ecors Pyrenees profile*. Nature, 331, 506-511.

FONTBOTE, J. M.; MUÑOZ, J. A., and SANTANACH, P. (1986): *On the consistency of proposed models for the Pyrenees with the structure of the eastern parts of the belt*. Tectonophysics, 129, 291-301.

GARCIA-SANSEGUNDO, J. (1990): *Structure of the Paleozoic in the Aran Valley, Axial zone, central Pyrenees*. Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 229.

LEFORT, J.-P., and POULPIQUET, J. de (1990): *Correlations between ECORS-Gascogne and ECORS-Nord de la France*

seismic lines across the South Armorican suture. Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 321.

MATTAUER, M. (1990): *An alternative interpretation of the deep seismic reflection profile ECORS Pyrenees.* Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 307.

MATTAUER, M. (1985): *Présentation d'un modèle lithosphérique de la chaîne des Pyrénées.* C. R. Acad. Sci. Paris, 300, 71-74.

ROURE, F.; CHOUKROUNE, P.; BERASTEGUI, X.; MUÑOZ, J. A.; VILLIEN, A.; MATHERON, P.; BAREYT, M.; SEGURET, M.; CAMARA, P., y DERAMOND, J. (1989): *ECORS deep seismic data and balanced cross section - geometric constraints to trace the evolution of the Pyrénées.* Tectonics, 8 (1), 41-50.

SEGURET, M., and DAIGNIERES, M. (1986): *Crustal scale*

balanced cross-sections of the Pyrénées: Discussion. Tectonophysics, 129, 303-318.

SEGURET, M., et al. (1985): *Coupes balancées d'échelle crustale des Pyrénées.* C. R. Acad. Sci. Paris, 301, 341-346.

TEIXELL, A. (1990): *Alpine thrusts at the western termination of the Pyrenean Axial zone.* Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 241.

TORNE, M.; CABISSOLE, B. de; BAYER, A.; CASAS, A.; DAIGNIERES, M., and RIVERO, A. (1989): *Gravity constraints on the deep structures of the Pyrenean belt along the deep reflection seismic ECORS Pyrénées profile.* Tectonophysics, 165, 105-116.

VERGES, J., and MUÑOZ, J. A. (1990): *Thrust sequences in the southern central Pyrénées.* Bull. Soc. géol. France (8), t. VI, núm. 2, 265.

Original recibido: Noviembre de 1991.

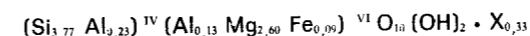
Original aceptado: Diciembre de 1991.

Caracterización de arcillas magnésicas bentoníticas en la zona de Yuncos (Toledo).

Por M. POZO (*), J. CUEVAS (*), A. MORENO (*), R. REDONDO (*) y S. LEGUEY (**)

RESUMEN

Se aborda en este trabajo el estudio mineralógico, químico y de propiedades de adsorción (CEC y superficie específica) de materiales bentoníticos, objeto de explotación en la zona de Yuncos (Toledo), dentro de la cuenca neógena de Madrid. Los resultados ponen de manifiesto que la bentonita está constituida por esmectita trioctaédrica de buena cristalinidad (I. Biscaye >0,75), con illita y sepiolita como minerales subordinados en la fracción arcilla. La esmectita se ha caracterizado como saponita, con la siguiente fórmula cristalquímica representativa:

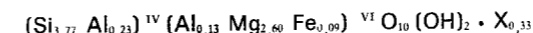


Dentro de las propiedades de adsorción, destaca una capacidad de cambio (CEC) media de 75,3 meq/100 g. y una superficie total (S_{AM}) en el rango 379-484 m²/g.

Palabras clave: Bentonita, Saponita, Cuenca de Madrid.

ABSTRACT

This paper deals with the mineralogical, chemical and adsorption properties (CEC, specific surface) study from bentonites exploited in the Yuncos Sector (Toledo), within the Madrid Neogene Basin. Results point out a trioctahedral smectite composition with good crystallinity (Biscaye index >0.75) and minor illite and sepiolite associated minerals in clay fraction. Smectite has been characterized as saponite with next crystallochemical formulae:



Among adsorption properties it is remarkable a mean CEC of 75.3 meq/100 mg. and a specific surface ranging from 397 to 484 m²/g.

Key words: Bentonite, Saponite, Madrid Basin.

1. INTRODUCCION

La existencia de depósitos importantes de arcillas magnésicas es una de las características de la cuenca neógena de Madrid, donde su explotación ha tenido y tiene una fuerte incidencia económica. Estas arcillas se pueden agrupar en dos tipos, las denominadas fibrosas (sepiolita y paligorskita) (GALAN Y CASTILLO, 1984) y las bentoníticas, constituidas fundamentalmente por esmectitas, de las que se han caracteriza-

do yacimientos saponíticos (lutitas verdes) en los Cerros del Aguila y Magán (GALAN et al., 1986; CUEVAS, 1990), y estevensíticas interestratificadas con kerolita (lutitas rosas), en la zona de Esquivias (MARTIN DE VIDALES et al., 1988 y 1991). Un tercer tipo de bentonitas se presenta en facies de lutitas marrones amarillentas asociadas a materiales arcósicos en la zona de Yuncos (Toledo), donde se disponen como transición entre depósitos lacustres y facies distales de abanicos aluviales, encuadrándose estratigráficamente en la base de la «Unidad intermedia del Mioceno», diferenciada en la cuenca (ALBERDI et al., 1983; JUNCO Y CALVO, 1983).

(*) Departamento de Q. A., Geología y Geoquímica. Universidad autónoma de Madrid.

Se plantea en este trabajo la caracterización de la bentonita de Yuncos, tanto en lo referente a su mineralogía y quimismo, como a la determinación de sus propiedades de adsorción de interés tecnológico. En la actualidad estas arcillas se emplean como arenas de moldeo y en ingeniería civil, entre otras aplicaciones, habiéndose analizado recientemente sus posibilidades como material de sellado en el almacenamiento de residuos radiactivos junto a otras bentonitas de depósitos españoles (LINARES et al., 1989; CUEVAS, 1990).

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. MATERIALES ESTUDIADOS

Los materiales objeto de este estudio se han muestreado en canteras pertenecientes a la Compañía «Minas de Gádor, S. A.» (Grupo Laporte), situadas al sur de la población toledana de Yuncos (fig. 1a). La bentonita se explota activamente en canteras con dimensiones aproximadas de 50 × 50 m., donde el acceso a los niveles beneficiables se alcanza tras removilizar el material arcósico que lo recubre, alcanzándose la capa principal a una cota bastante constante que se aproxima a los 550 m. (fig. 2).

La capa bentonítica presenta una potencia media de 1,5 m., habiéndose recogido tres muestras, una cada 50 cm., en tres puntos de muestreo seleccionados en las canteras, denominados con las letras H, I y J (fig. 1b).

Las lutitas muestreadas presentan tonalidades de marrón amarillento a ligeramente verdosa, con diversas texturas que van de brechoide o grumosa a cérea, con episodios laminares-lajeados a techo, destacando en todos los casos la existencia de frecuentes «slickensides» (fig. 3). Ocasionalmente, se han detectado en la masa de arcilla esferulitos blancos milimétricos de composición calcítica. Es reseñable en la serie J la práctica ausencia de estos esferulitos, estando presentes, sin embargo, nódulos decimétricos de composición dolomítica, siendo en este perfil donde se han recogido las lutitas más céreas de todas las muestreadas.

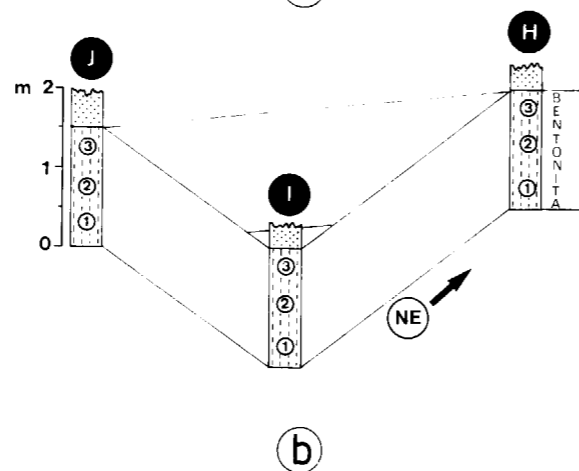
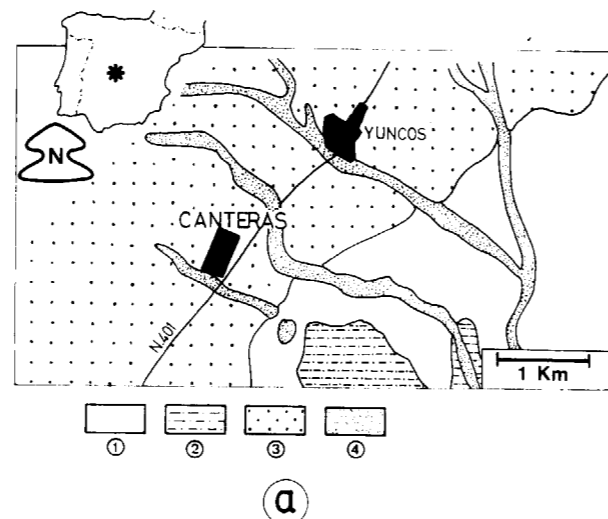


Figura 1.

- a) Esquema geológico con la situación de la zona de canteras estudiada. (1) Unidad evaporítica. (2) Arcillas cerámicas. (3) Unidad arcósica. (4) Depósitos cuaternarios. (Adaptado de MENDUIÑA, 1988.)
- b) Correlación de las columnas litológicas estudiadas y posición de las muestras.

2.2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

La composición mineralógica de la muestra total fue determinada mediante difracción de rayos X en polvo desorientado, donde se cuantificaron los componentes principales empleando los poderes reflectantes establecidos por SCHULTZ (1969). La caracterización de los minerales de la arcilla se realizó en la fracción menor de 2 $\mu\text{m.}$, obtenida por sedimentación (MC MANUS, 1988),

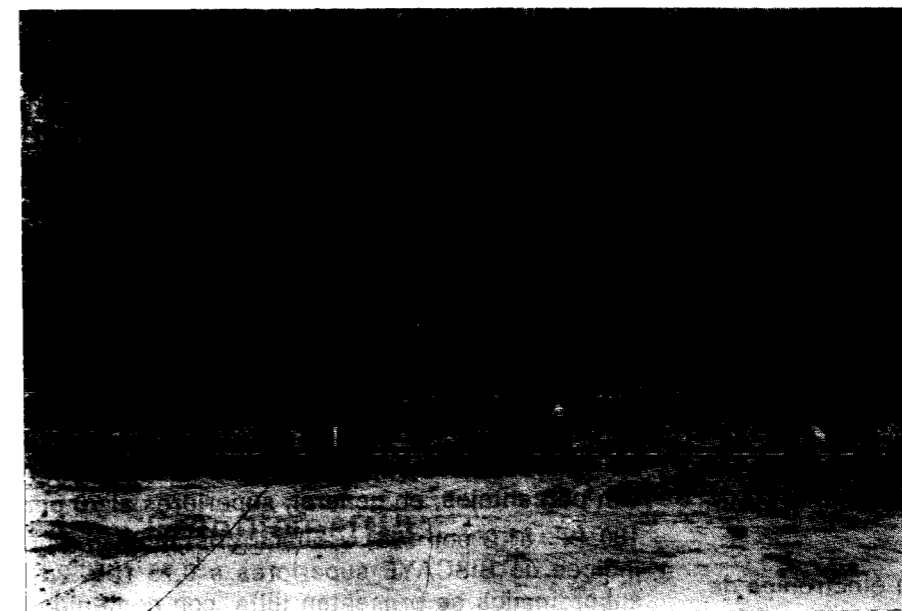


Figura 2.—Aspecto general de una de las canteras estudiadas.
(1) Nivel bentonítico. (2) Tramo detritico (samitas, aleuritas, arcillas).

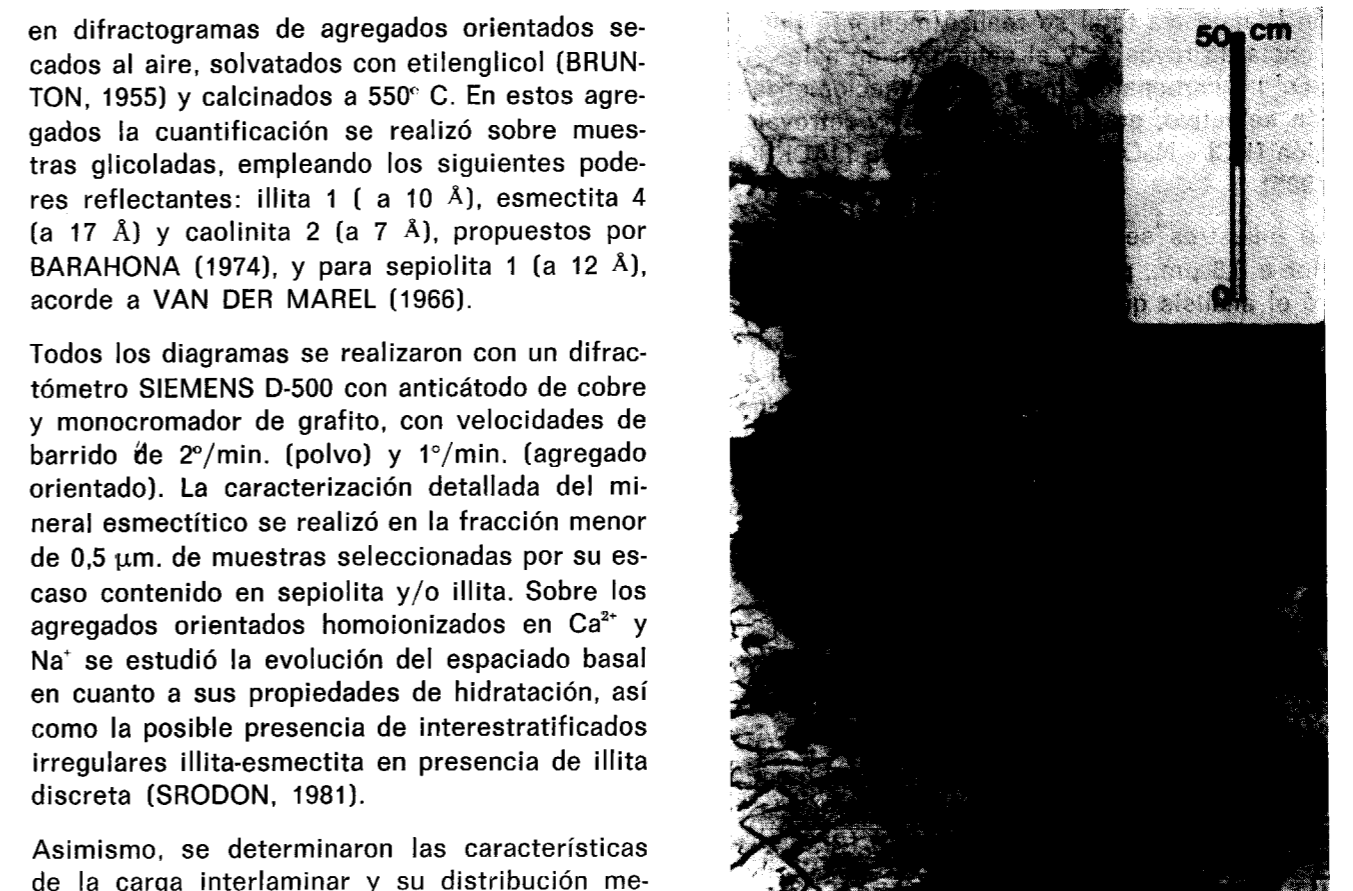


Figura 3.—Detalle del contacto entre la bentonita (1) y litofacies aleuríticas (2). Destaca en la bentonita la frecuente existencia de «slickensides» con tinciones de pirolusita (flechas).

en difractogramas de agregados orientados secados al aire, solvatados con etilenglicol (BRUNTON, 1955) y calcinados a 550° C. En estos agregados la cuantificación se realizó sobre muestras glicoladas, empleando los siguientes poderes reflectantes: illita 1 (a 10 Å), esmectita 4 (a 17 Å) y caolinita 2 (a 7 Å), propuestos por BARAHONA (1974), y para sepiolita 1 (a 12 Å), acorde a VAN DER MAREL (1966).

Todos los diagramas se realizaron con un difractómetro SIEMENS D-500 con anticátodo de cobre y monocromador de grafito, con velocidades de barrido de 2°/min. (polvo) y 1°/min. (agregado orientado). La caracterización detallada del mineral esmectítico se realizó en la fracción menor de 0,5 $\mu\text{m.}$ de muestras seleccionadas por su escaso contenido en sepiolita y/o illita. Sobre los agregados orientados homoionizados en Ca^{2+} y Na^+ se estudió la evolución del espaciado basal en cuanto a sus propiedades de hidratación, así como la posible presencia de interestratificados irregulares illita-esmectita en presencia de illita discreta (SRODON, 1981).

Asimismo, se determinaron las características de la carga interlamina y su distribución me-

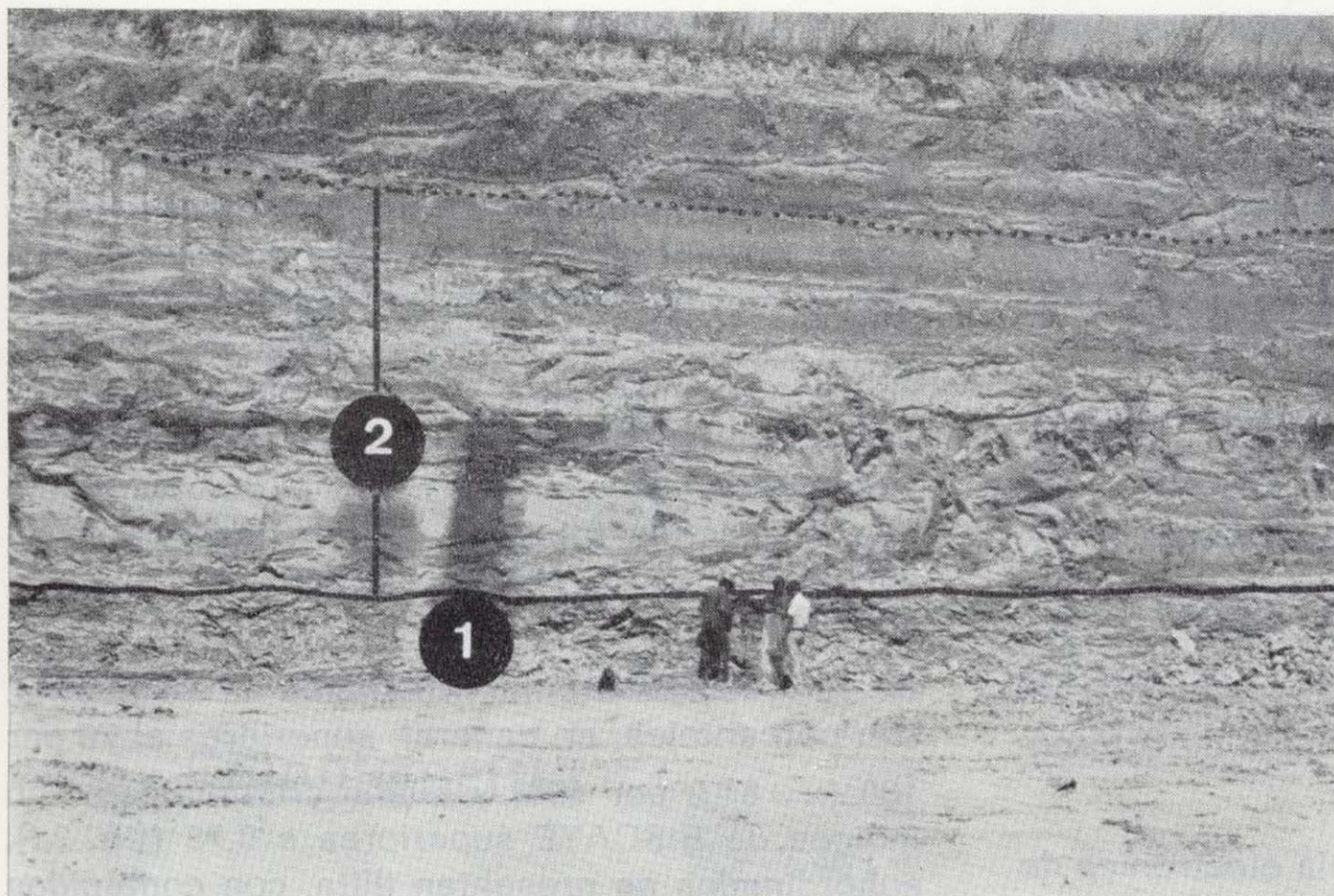


Figura 2.—Aspecto general de una de las canteras estudiadas.

(1) Nivel bentonítico. (2) Tramo detrítico (samitas, aleuritas, arcillas).

en difractogramas de agregados orientados secados al aire, solvatados con etilenglicol (BRUNTON, 1955) y calcinados a 550° C. En estos agregados la cuantificación se realizó sobre muestras glicoladas, empleando los siguientes poderes reflectantes: illita 1 (a 10 Å), esmectita 4 (a 17 Å) y caolinita 2 (a 7 Å), propuestos por BARAHONA (1974), y para sepiolita 1 (a 12 Å), acorde a VAN DER MAREL (1966).

Todos los diagramas se realizaron con un difractor SIEMENS D-500 con anticátodo de cobre y monocromador de grafito, con velocidades de barrido de 2°/min. (polvo) y 1°/min. (agregado orientado). La caracterización detallada del mineral esmectítico se realizó en la fracción menor de 0,5 μm. de muestras seleccionadas por su escaso contenido en sepiolita y/o illita. Sobre los agregados orientados homoionizados en Ca²⁺ y Na⁺ se estudió la evolución del espaciado basal en cuanto a sus propiedades de hidratación, así como la posible presencia de interestratificados irregulares illita-esmectita en presencia de illita discreta (SRODON, 1981).

Asimismo, se determinaron las características de la carga interlaminar y su distribución me-

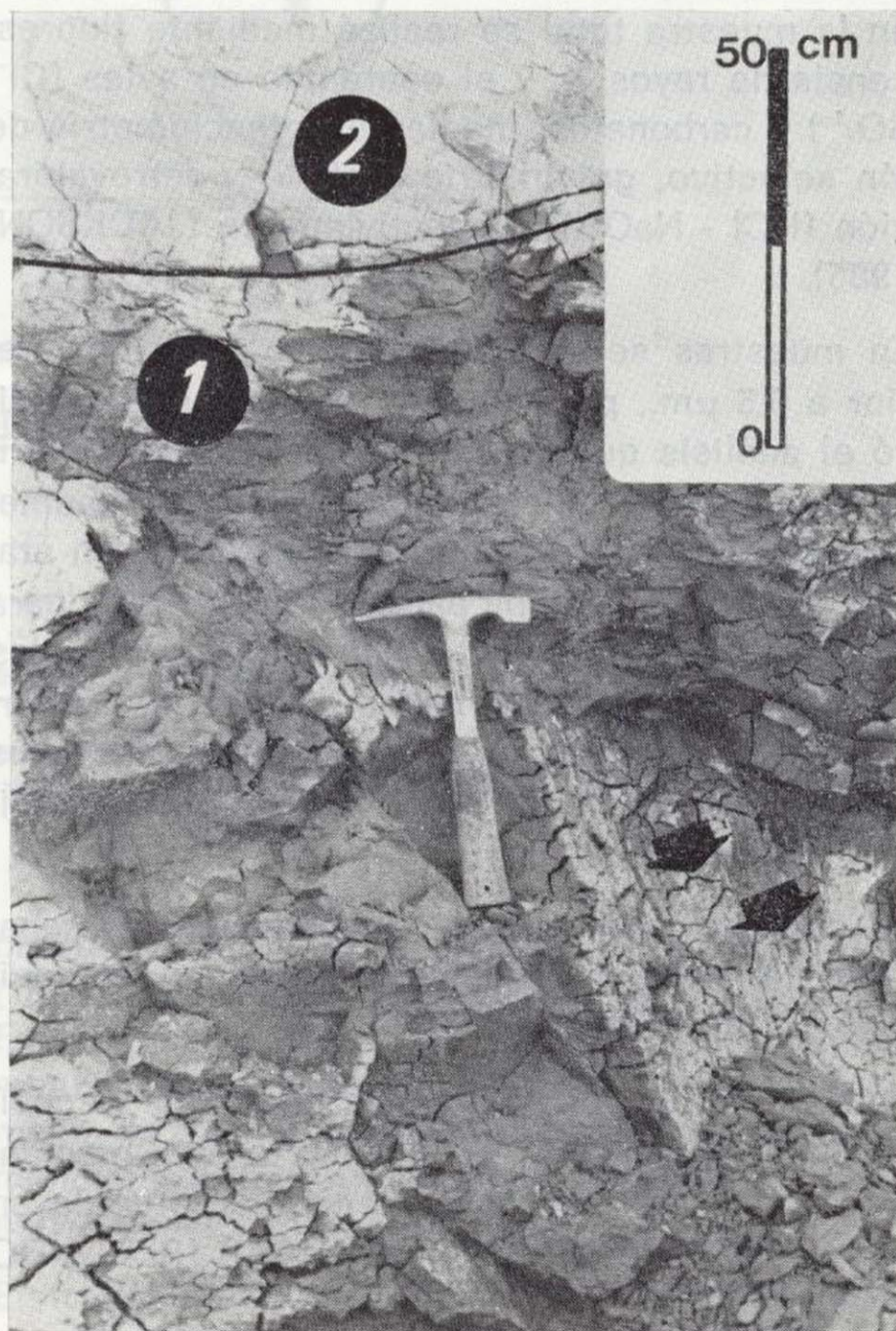


Figura 3.—Detalle del contacto entre la bentonita (1) y litofacies aleuríticas (2). Destaca en la bentonita la frecuente existencia de «slickensides» con tinciones de pirolusita (flechas).

dante el test de GREEN KELLY (1953) y su magnitud mediante el de MALLA y DOUGLAS (1987).

Para determinar el carácter di- o trioctaédrico de la esmectita se midió el valor de la reflexión correspondiente al espaciado d_{060} de la fracción arcilla en polvo desorientado según las condiciones propuestas por DESPRAIRES (1983).

La cristalinidad de la illita se determinó siguiendo el método de BISCAYE (1965).

Los análisis térmicos diferenciales (ATD) y termogravimétricos (TG) se realizaron con una termobalanza METTLER TA-2, en atmósfera de aire seco, y una velocidad de calentamiento de $10^{\circ}\text{C}/\text{min.}$, tomando como sustancia de referencia Al_2O_3 .

Las observaciones de microscopía electrónica de barrido (MEB) se efectuaron en muestras no disturbadas, con un equipo PHILIPS SEM-500 con sistema EDAX incorporado.

El análisis químico de elementos mayoritarios en la muestra total se realizó mediante fluorescencia de rayos X, y el contenido en sales (Cl^- , SO_4^{2-}) y carbonatos, mediante potenciometría de ión selectivo, gravimetría (BaSO_4) y retrovaloración ($\text{HCl} - \text{NaOH}$), respectivamente (JACKSON, 1985).

En muestras seleccionadas de la fracción inferior a $0,5\ \mu\text{m.}$, previamente calcinadas, se realizó el análisis químico de los elementos mayoritarios mediante el método clásico de vía húmeda (JEFFREY y HUTCHINSON, 1983), con un ataque por fusión alcalina para la sílice y ácido para el resto de los elementos, siendo determinados mediante espectrofotometría visible, de absorción atómica o de emisión. A partir de estos análisis se calcularon las fórmulas cristalóquímicas de la esmectita.

En muestra total y arcilla se determinó la capacidad de cambio catiónico (CEC) y su composición (BAIN y SMITH, 1987).

Finalmente, se midió tanto la superficie específica externa (método BET), como la total mediante azul de metileno sobre la arcilla saturada en Na^+ (BRINDLEY y THOMPSON, 1970) (REDONDO et al., 1991).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. MINERALOGIA

Los resultados mineralógicos obtenidos se muestran en la figura 4b y c para la muestra total y fracción arcilla ($<2\ \mu\text{m.}$), respectivamente. Destaca el elevado contenido en filosilicatos, que superan en todas las muestras el 95 por 100, con porcentajes inferiores al 5 por 100 de cuarzo y feldespato, e indicios de calcita. El estudio granulométrico, por su parte, pone de manifiesto que la práctica totalidad de los filosilicatos se encuentran en la fracción inferior a $2\ \mu\text{m.}$ (figura 4a).

En la fracción arcilla predomina la esmectita, con porcentajes, en general, superiores al 70 por 100 ($\bar{x}=81,2$ por 100) y buena cristalinidad, con índices de BISCAYE superiores a 0,75 (fig. 2d), subordinados se presentan illita, con contenidos entre 7-22 por 100 ($\bar{x}=12,4$ por 100), y sepiolita entre 0-21 por 100 ($\bar{x}=7,1$ por 100). Es de destacar que la sepiolita tiende a concentrarse en las muestras basales, mientras que en las superiores aparecen los contenidos más altos en illita.

Para la caracterización precisa de la esmectita, y con el fin de minimizar la influencia de illita y sepiolita, se ha estudiado en detalle la fracción inferior a $0,5\ \mu\text{m.}$ en dos muestras representativas (J-II y H-III). Así, el diagrama de polvo desorientado de la muestra sódica pone de manifiesto la existencia de bandas asimétricas (kh), y reflexiones basales (00l) características del grupo de las esmectitas, con un espaciado $d_{060} = 1,528\ \text{\AA}$, que indica carácter trioctaédrico (fig. 5a). La ausencia de bandas (khl) como las descritas en algunas saponitas y beidellitas sódicas, se interpreta como una falta de orden en los apilamientos (SUQUET et al., 1975).

Los resultados obtenidos en los diversos tratamientos de las muestras seleccionadas en fracción $<0,5\ \mu\text{m.}$, se presentan en la tabla I, y las características difractométricas en la figura 6. En las dos muestras predominan espaciados basales característicos de esmectitas con una y dos capas de agua interlamina (forma sódica, $12,4\ \text{\AA}$; cálcica, $15\ \text{\AA}$), expandiendo a $16,9-17\ \text{\AA}$ con etilenglicol y colapsando a $10\ \text{\AA}$ tras calcinar a 550°C .

El tamaño del cristalito, aplicando la ecuación de SCHERRER (en CULLITY, 1964), varía entre

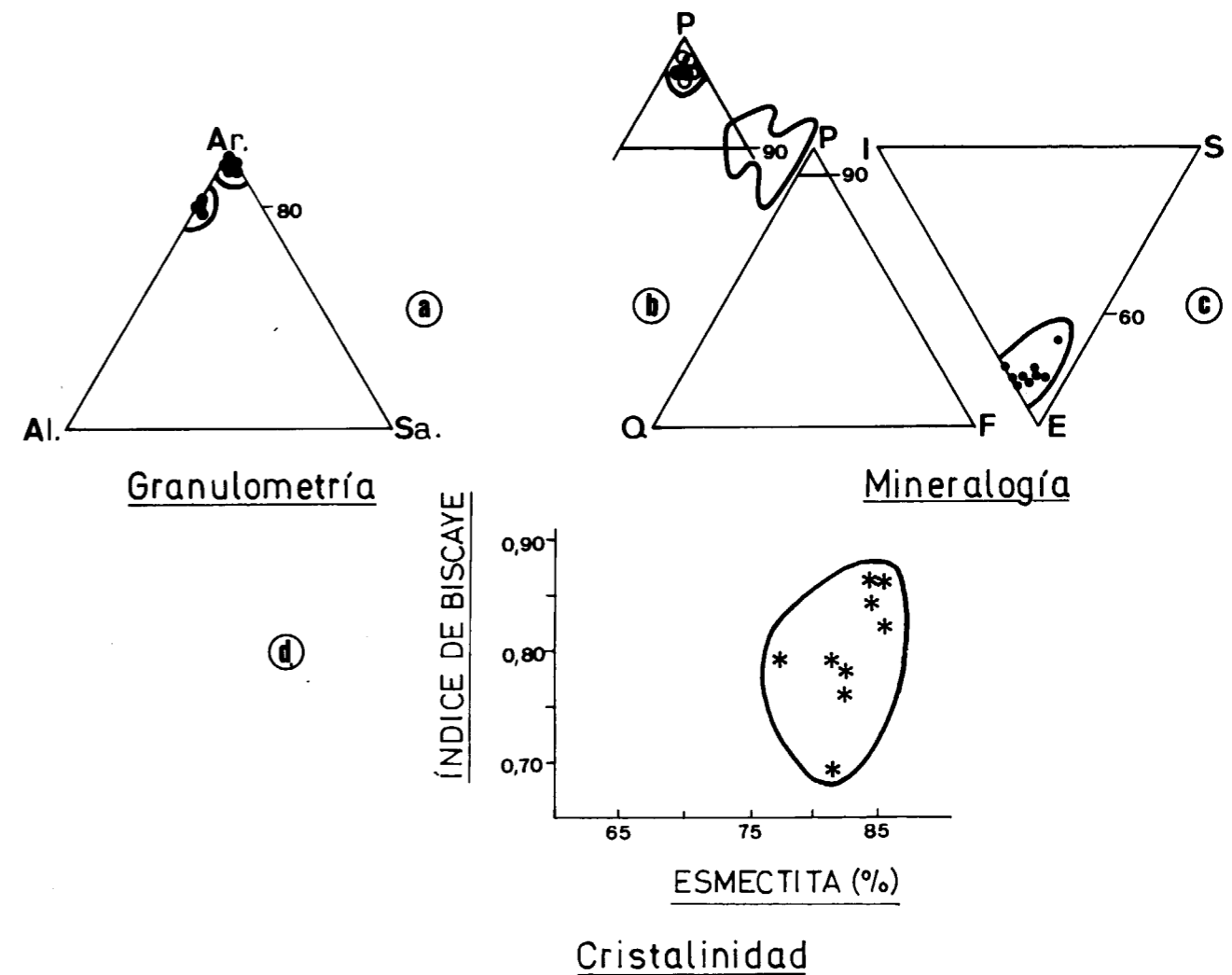


Figura 4.

- a) Resultados granulométricos. Ar, arcilla. Al, aleurita. Sa, sarena.
 b) Proyección de la mineralogía total. P, filosilicatos. Q, cuarzo. F, feldespato.
 c) Proyección de la mineralogía de la arcilla ($<2\ \mu\text{m.}$). I, illita. S, sepiolita. E, esmectita.

92 y $103\ \text{\AA}$, lo que implica de 5 a 6 láminas por apilamiento. La aplicación de los métodos de SRODON (1980, 1981) ponen de manifiesto un elevado porcentaje en láminas expandibles que superan el 85 por 100 y ausencia de interstratificación desordenada con illita.

Aunque subordinados y en escasa proporción, destaca la presencia de illita e indicios de se-

piolita. El valor del espaciado basal de la illita ($10\ \text{\AA}$), así como la relación $I(002)/I(001) = \text{Al}/\text{Fe} + \text{Mg}$ superior a 0,40, indican el carácter aluminico de la misma (ESQUEVIN, 1969), con tamaño de cristalito entre $192-207\ \text{\AA}$, y como se mencionó anteriormente, con ausencia de interstratificación (illita discreta).

El tratamiento con litio (Test de GREEN-KELLY,

TABLA I
Características difractométricas (fracción < 0,5 μm.)

Muestra	d (001) Em. S. Aire	d (001) Em. 0+EG	d (001) II	I ₂ /I ₁	T. II (Å)	T. Em (Å)	% Exp.
Na-H-III	12.4 ± 0.3	17.00 ± 0.10	9.99 ± 0.01	0.44	192	92	> 95
Ca-H-III	15.0 ± 0.3	16.91 ± 0.11	10.02 ± 0.03	0.48	207	96	85
Na-J-II	12.5 ± 0.2	17.01 ± 0.09	10.02 ± 0.03	0.51	207	103	< 95
Ca-J-II	15.0 ± 0.1	16.96 ± 0.11	10.03 ± 0.03	0.55	207	99	92

II: Illita; Em: Esmeclita; I₁: Intensidad del primer orden del espaciado basal; T: Tamaño de cristalito; % Exp.: Porcentaje de láminas expandibles (SRODON, 1980, 1981).

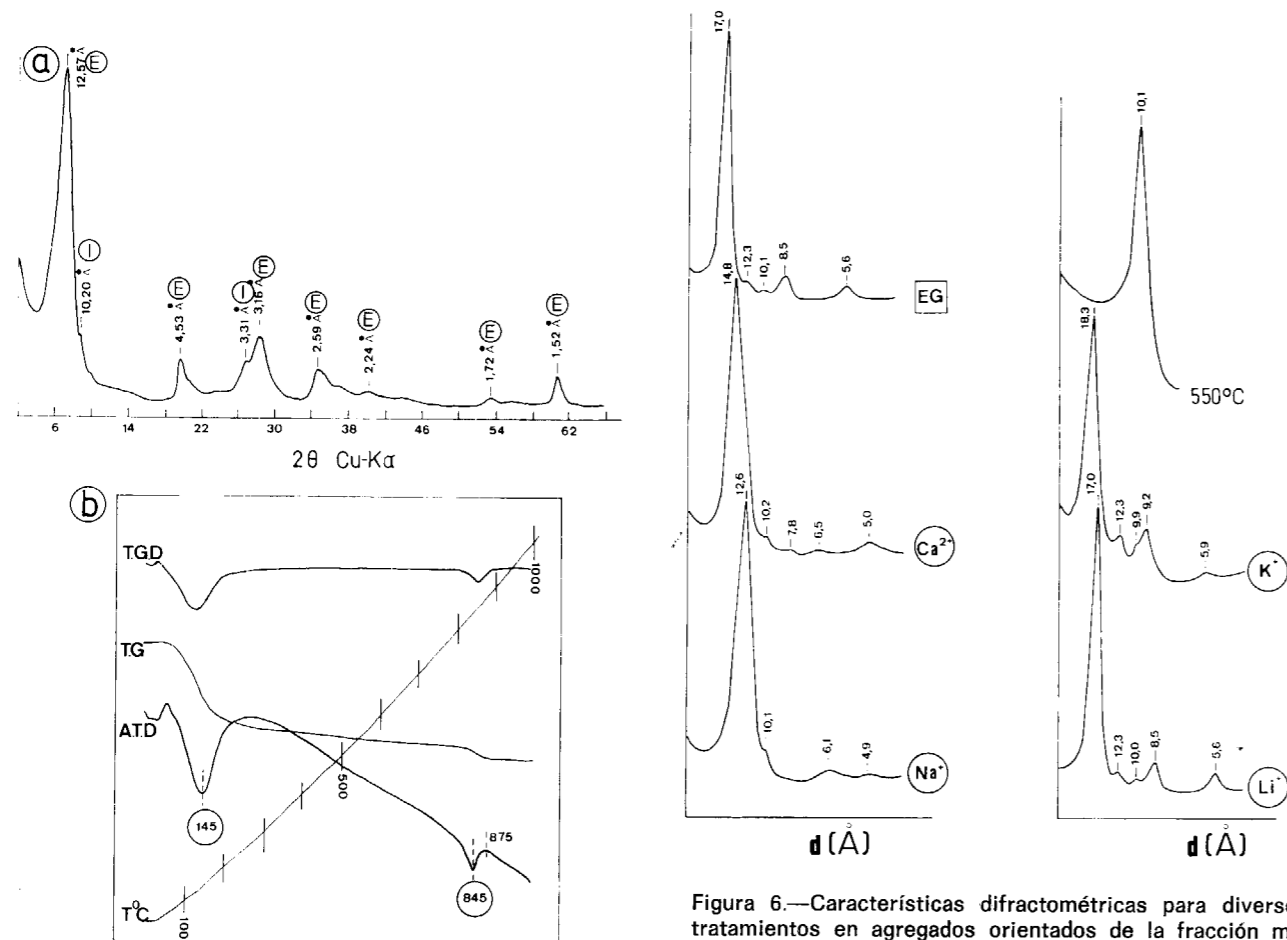


Figura 5.

- a) Diagrama de polvo desorientado representativo del material bentonítico. I, illita. E, esmeclita.
- b) Características térmicas de la bentonita de Yuncos. Las temperaturas enmarcadas corresponden a efectos endotérmicos.

Figura 6.—Características difractométricas para diversos tratamientos en agregados orientados de la fracción menor de 0,5 μm.

- (Na⁺) Agregado orientado homoionizado en sodio.
- (Ca²⁺) Agregado orientado homoionizado en calcio.
- (E. G.) Agregado orientado solvatado con etilenglicol.
- (Li⁺) Agregado orientado homoionizado en litio, calentado a 300° C y solvatado con etilenglicol.
- (K⁺) Agregado orientado potásico, calentado a 300° C y solvatado con glicerol.

1953) muestra que la esmeclita expande con etilenglicol tras ser sometida a 300° C, poniendo de manifiesto una esmeclita con predominio de carga tetraédrica, lo que, unido a su carácter trioctaédrico, indica que la esmeclita es una saponita (GÜVEN, 1988). Por otra parte, el tratamiento a 300° C de la muestra potásica y su reexpansión con glicerol aproximadamente a 18 Å indica, acorde a MALLA y DOUGLAS (1987), que es una esmeclita de baja carga (< 0,36 eq O₁₀ (OH)₂).

El estudio de las muestras J-II y H-III mediante análisis térmico diferencial (ATD) y termogravimetría (TG) (fig. 5b), confirman el carácter saponítico determinado difractométricamente (PATERSON y SWAFFIELD, 1987). Así, se detectan picos endotérmicos característicos de esmeclitas trioctaédricas a 145° C (pérdida de agua absorbida e interlaminar) y a 845° C (deshidroxilación), con una pérdida por calentamiento del 22 por 100. Estas características y la morfología del ATD coinciden con las descritas por TRAUTH (1977) para esmeclitas trioctaédricas de tipo (Mb), que interpreta como saponita.

Las observaciones mediante microscopía electrónica de barrido de muestras no disturbadas, pone de manifiesto morfologías características de esmeclitas con bordes ondulados y contraídos (WELTON, 1984) (fig. 7). Destaca en muestras con contenido importante de sepiolita, los agregados fibrosos de este mineral, que tiende a crecer en los bordes de láminas esmeclíticas (figura 8).

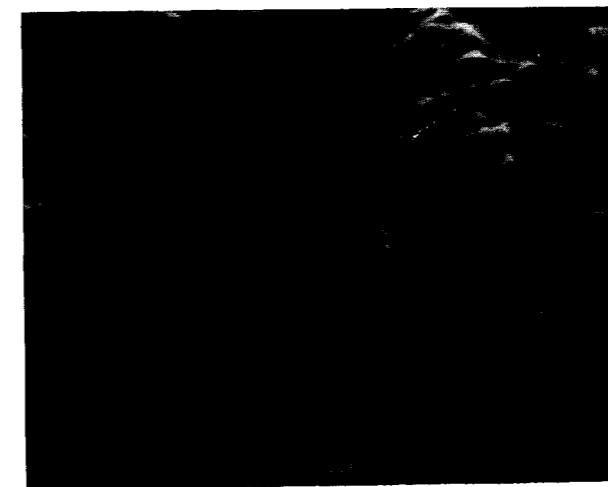


Figura 7.—Aspecto arrugado de la saponita de Yuncos (Sa), característico de minerales esmeclíticos.

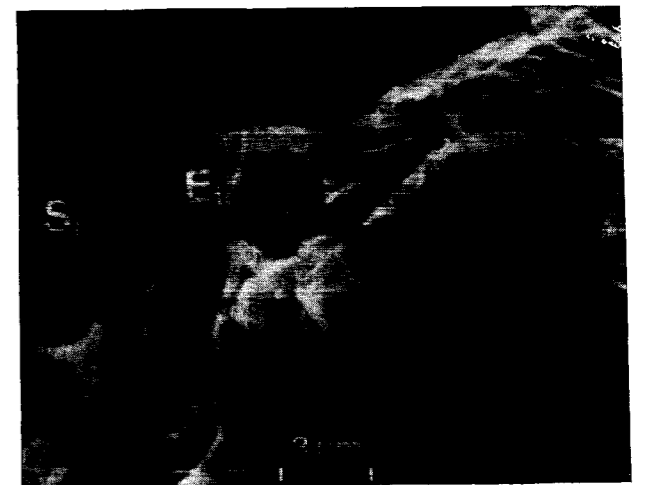


Figura 8.—Detalle de incipientes fibras de sepiolita (Sp) en los bordes de láminas de saponita (Et).

3.2. QUIMISMO

Aspectos geoquímicos

Los resultados de los análisis químicos de elementos mayores en la muestra total se presentan en la tabla II, y los histogramas de distribución de frecuencias de los diversos óxidos en la figura 9.

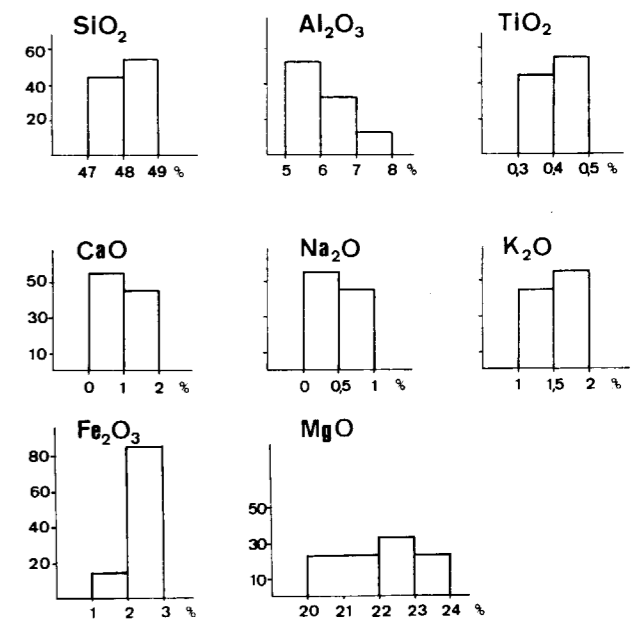


Figura 9.—Histogramas correspondientes a la composición química de la muestra total.

1953) muestra que la esmectita expande con etilenglicol tras ser sometida a 300° C, poniendo de manifiesto una esmectita con predominio de carga tetraédrica, lo que, unido a su carácter trioctaédrico, indica que la esmectita es una saponita (GÜVEN, 1988). Por otra parte, el tratamiento a 300° C de la muestra potásica y su reexpansión con glicerol aproximadamente a 18 Å indica, acorde a MALLA y DOUGLAS (1987), que es una esmectita de baja carga ($< 0,36 \text{ eq O}_{10}(\text{OH})_2$).

El estudio de las muestras J-II y H-III mediante análisis térmico diferencial (ATD) y termogravimetría (TG) (fig. 5b), confirman el carácter saponítico determinado difractométricamente (PATERSON y SWAFFIELD, 1987). Así, se detectan picos endotérmicos característicos de esmectitas trioctaédricas a 145° C (pérdida de agua absorbida e interlaminar) y a 845° C (deshidroxilación), con una pérdida por calentamiento del 22 por 100. Estas características y la morfología del ATD coinciden con las descritas por TRAUTH (1977) para esmectitas trioctaédricas de tipo (Mb), que interpreta como saponita.

Las observaciones mediante microscopía electrónica de barrido de muestras no disturbadas, pone de manifiesto morfologías características de esmectitas con bordes ondulados y contraídos (WELTON, 1984) (fig. 7). Destaca en muestras con contenido importante de sepiolita, los agregados fibrosos de este mineral, que tiende a crecer en los bordes de láminas esmectíticas (figura 8).

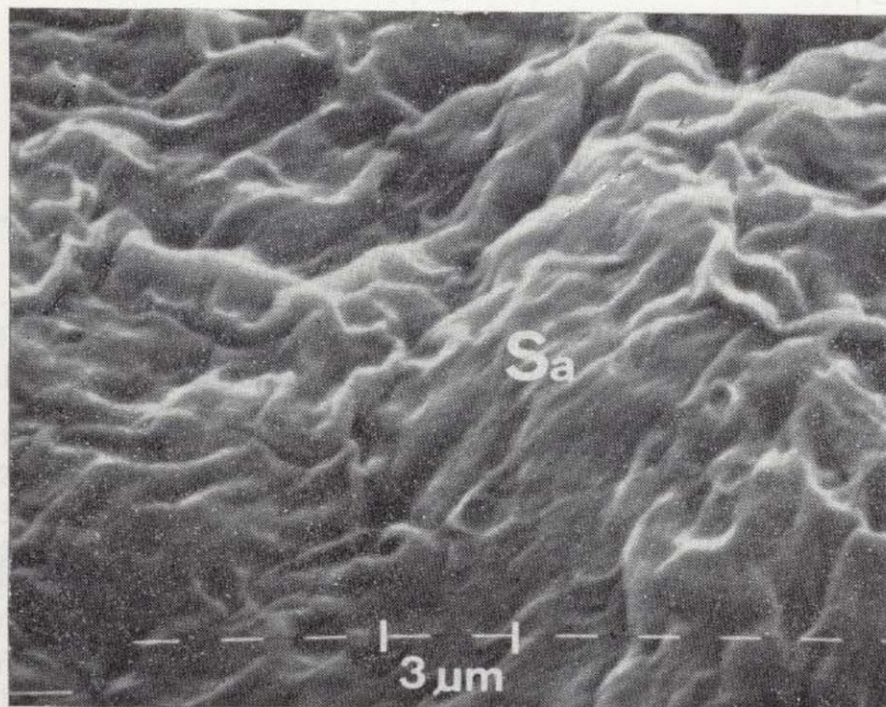


Figura 7.—Aspecto arrugado de la saponita de Yuncos (Sa), característico de minerales esmectíticos.

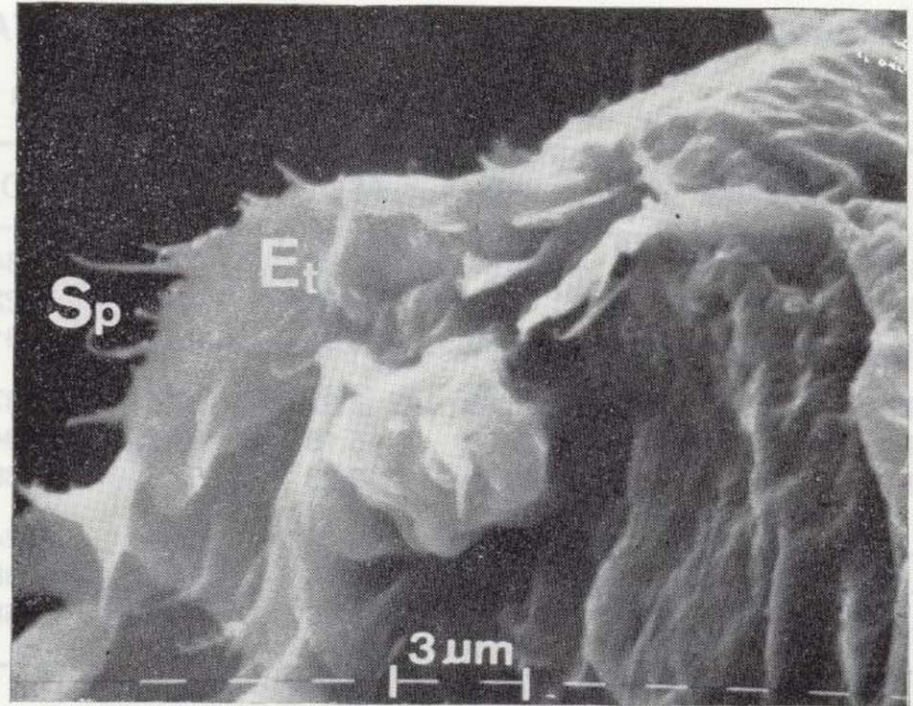


Figura 8.—Detalle de incipientes fibras de sepiolita (Sp) en los bordes de láminas de saponita (Et).

3.2. QUIMISMO

Aspectos geoquímicos

Los resultados de los análisis químicos de elementos mayores en la muestra total se presentan en la tabla II, y los histogramas de distribución de frecuencias de los diversos óxidos en la figura 9.

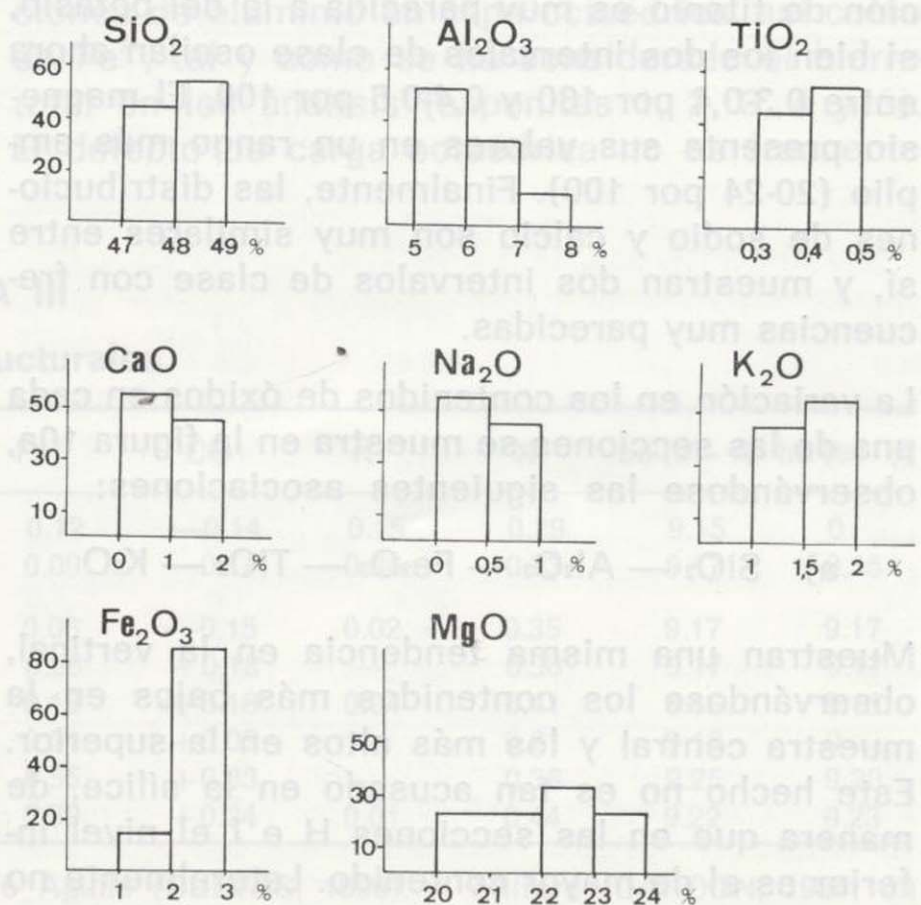


Figura 9.—Histogramas correspondientes a la composición química de la muestra total.

TABLA II

Análisis químicos de muestra total (Fluorescencia de Rayos X)

Muestra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	ppc
H-I	48.67	5.83	0.40	2.34	0.05	22.14	0.54	0.46	1.59	18.76
H-II	47.78	5.26	0.36	2.22	0.07	23.18	0.67	0.46	1.29	19.60
H-III	47.99	6.61	0.41	2.91	0.05	20.94	1.02	1.43	1.66	18.75
I-I	48.69	6.32	0.44	2.37	0.05	20.97	1.24	0.77	1.70	18.20
I-II	47.79	5.18	0.37	2.04	0.07	23.04	0.88	0.40	1.23	19.70
I-III	48.56	7.23	0.49	2.88	0.05	20.16	1.06	0.62	1.84	17.74
J-I	48.15	5.48	0.39	2.24	0.05	22.21	0.96	0.49	1.38	19.47
J-II	47.54	5.14	0.35	1.98	0.12	22.60	0.29	0.51	1.18	20.14
J-III	48.80	6.66	0.46	2.68	0.05	20.80	0.73	0.73	1.72	18.10

ppc: Pérdida por calcinación.

La sílice muestra un rango de valores estrecho comprendido entre 47-49 por 100 ($\bar{x}=48,22$). El aluminio presenta una distribución de frecuencias asimétrica con marcado sesgo negativo, cuya media aritmética se encuentra dentro del intervalo modal. El hierro total presenta un gran intervalo modal entre 2-3 por 100, que comprende la casi totalidad de las muestras, y en las proximidades de su marca de clase se sitúa la media aritmética. Los valores de potasio se repiten casi equitativamente en dos intervalos de clase (1-1,5 por 100 y 1,5-2 por 100). La distribución de titanio es muy parecida a la del potasio, si bien los dos intervalos de clase oscilan ahora entre 0,3-0,4 por 100 y 0,4-0,5 por 100. El magnesio presenta sus valores en un rango más amplio (20-24 por 100). Finalmente, las distribuciones de sodio y calcio son muy similares entre sí, y muestran dos intervalos de clase con frecuencias muy parecidas.

La variación en los contenidos de óxidos en cada una de las secciones se muestra en la figura 10a, observándose las siguientes asociaciones:

a) SiO₂ — Al₂O₃ — Fe₂O₃ — TiO₂ — K₂O

Muestran una misma tendencia en la vertical, observándose los contenidos más bajos en la muestra central y los más altos en la superior. Este hecho no es tan acusado en la sílice, de manera que en las secciones H e I el nivel inferior es el de mayor contenido. Lateralmente no se observan diferencias significativas.

b) MgO — MnO

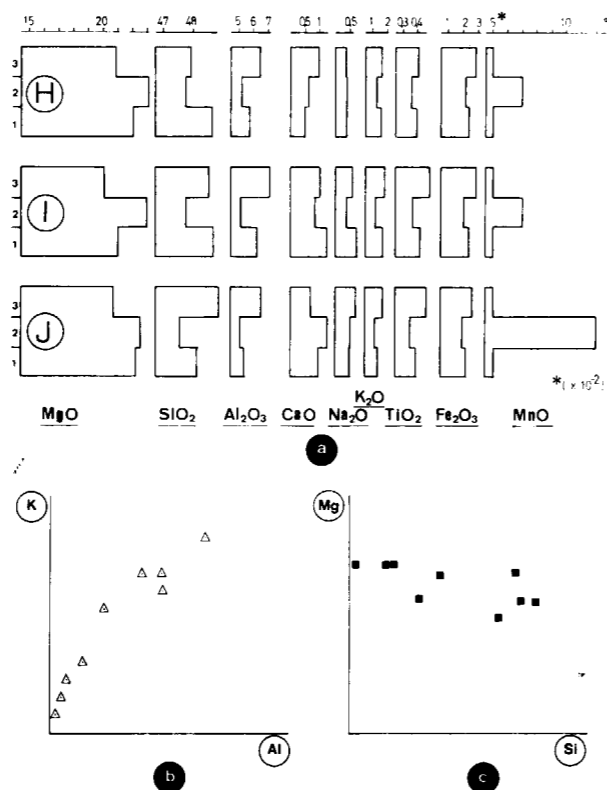


Figura 10.

- a) Variación de la composición química de la muestra total a lo largo de las tres series estudiadas.
 b) Diagrama de nube de puntos mostrando correlación positiva entre K y Al.
 c) Diagrama de nube de puntos mostrando correlación negativa entre Mg y Si.

Presentan una tendencia similar en la vertical, con la mayor concentración en la muestra central. Lateralmente, destaca en la sección J, los mayores porcentajes en estos óxidos, que decrecen bruscamente en la muestra superior.

c) CaO — Na₂O

Muestran un comportamiento irregular, sin que se observe una tendencia clara, si bien globalmente se presentan con mayor proporción en I y J que en H.

El estudio bivalente de la correlación existente entre las diferentes variables analizadas se ha llevado a cabo mediante la proyección de cada par de variables en diagramas de nubes de puntos. A pesar del pequeño número de muestras estudiadas, es destacable la existencia de un grupo de elementos que muestran entre sí una buena correlación positiva que coincide con la asociación (a) anteriormente mencionada (figura 10b). Magnesio y manganeso muestran una buena correlación con el grupo anterior, pero de signo negativo (fig. 10c), mientras que calcio y sodio tienen un comportamiento geoquímico diferente, no correlacionándose ni entre ellos mismos ni con ningún otro elemento.

En cuanto al contenido en carbonatos y sales (cloruros y sulfatos), destaca que estos últimos están por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada (<0,001 y <0,05 por 100, respectivamente), mientras que los carbonatos oscilan entre 3,48 y 4,44 por 100, estando

uniformemente repartidos en las diversas muestras.

La materia orgánica, expresada como carbono orgánico, presenta contenidos que se sitúan en el rango 0,04-0,11 por 100, siendo más abundantes, de forma global, en las secciones I y J.

Estos resultados indican de forma general una gran homogeneidad química en las muestras estudiadas.

Cristaloquímica de la esmectita

A partir del análisis químico de la fracción menor de 0,5 μm . de las muestras seleccionadas, J-II y H-III, se han calculado las correspondientes fórmulas estructurales, sobre la base aniónica O₁₀(OH)₂. Los resultados obtenidos indican una esmectita trioctaédrica con predominio de carga tetraédrica, que coincide con las características de saponita (NEWMAN, 1987). En la tabla III se muestran las fórmulas estructurales obtenidas y su comparación con la de otras saponitas recogidas en la bibliografía.

El valor del parámetro no experimental calculado a partir de la fórmula estructural (BRINDLEY y Mc EWAN, 1953; BROWN y BRINDLEY, 1980), corresponde a términos esmectíticos con sustituciones de aluminio en capa octaédrica, así como de Fe³⁺, tal y como se ha considerado el hierro total en los análisis (saponitas 1, 2, 3, 4 y 6). El defecto de carga octaédrica no es frecuente

TABLA III
Fórmulas estructurales

Muestra	Si ^{IV}	Al ^{IV(Fe)}	Al ^{VI}	Mg ^{VI}	Fe ^{VI}	CO	K ⁺	X ⁺	bo (c) - Å	bo (e) - Å
H-III	3.80	0.20	0.30	2.30	0.12	-0.14	0.15	0.29	9.15	0
J-II	3.77	0.23	0.13	2.60	0.09	-0.14	0.04	0.33	9.17	9.15
1	3.77	0.23	0.15	2.61	0.06	-0.15	0.02	0.35	9.17	9.17
2	3.70	0.30	0.20	2.70	0.06	+0.18	—	0.30	9.17	9.17
3	3.72	0.28	0.27	2.32	0.13	-0.16	0.04	0.41	9.16	9.16
4	3.75	0.25	0.10	2.86	0.01	+0.05	—	0.21	9.18	0
5*	3.25	0.75	—	2.57	0.55	+0.33	—	0.36	9.25	9.20
6	3.20	0.64	—	2.50	0.50	+0.24	0.01	0.44	9.22	9.23

1. Ballarat (POST, 1984). 2. Magan (GALAN et al., 1986). 3. Cerro Aguila (CUEVAS, 1990). 4. Milford (CAHOON, 1954; en NEWMAN and BROWN, 1987). 5. Orrock Quarry (COWKING et al., 1983). *, Fe²⁺/Fe³⁺=5.9. 6. Kozakov (SUQUET et al., 1975; Fe²⁺/Fe³⁺=1,1).
 CO: Carga octaédrica. bo (c): Parámetro calculado. bo (e): Parámetro experimental.

- GALAN, E., y CASTILLO, A. (1984): *Sepiolite-Palygorskite in Spanish Tertiary Basins: Genetical patterns in continental environments*. In: *Palygorskite-Sepiolite: Occurrences, Genesis and Use* (A. Singer and E. Galán, Eds.). Developments in Sedimentology, 37, Elsevier, 87-124.
- GALAN, E.; ALVAREZ, A., and ESTEBAN, M. A. (1986): *Characterization and technical properties of a Mg-rich bentonite*. Applied Clay Science, 1, pp. 295-309.
- GREEN KELLY, R. (1953): *The Identification of montmorillonoids in clays*. J. Soil Sci., 4, 233-237.
- GÜVEN, N. (1988): *Smectites*. In: *Hydrous Phyllosilicates*. S-W Beiley Ed. Review in Mineralogy, 19. Min. Soc. of America Ch., 13, 497-559.
- JACKSON, M. L. (1985): *Soil Chemical Analysis Advanced Course*. 2nd Edition. 11th printing. Published by author Madison, Wis., 53705 USA.
- JEFFREY, P. G., and HUTCHINSON, D. (1983): *Chemical Methods of Rock Analysis*. Pergamon Series on Analytical Chemistry. Pergamon Press, 379 pp.
- LINARES, J.; HUERTAS, F.; REYES, E.; BARAHONA, E.; DELGADO, A.; ROMERO, G.; LEGUEY, S.; POZO, M.; CUEVAS, J.; MORENO, A.; GARCIA, R.; ASTUDILLO, J. and HUERTAS, Fd. (1989): *Spanish Activities in the Field on Backfilling and Sealing. A Preliminary Study of Some Spanish Sedimentary (Madrid Basin) and Hydrothermal (Almeria) Bentonites*. In: *Sealing of Reactive Waste Repositories*. Procc. NEA/CEC Workshop OECD. Ed. Paris, 318-332.
- MAC MANUS, J. (1988): *Grain size determination and interpretation*. In: *Techniques in Sedimentology* (M. E. Tucker, Ed.). Ch., 3, 63-85, Blackwells. Oxford.
- MALLA, P. B., and DOUGLAS, L. A. (1987): *Identification of Expanding Layer Silicates: Layer Charge vs. expansion properties*. Proc. Int. Clay Conf. Denver, 1985. L. G. Schultz, H. Van Olphen and F. A. Mumpton (Eds.). The Clay Mineral Society. Bloomington, Indiana, 277-283.
- MARTIN DE VIDALES, J. L.; POZO, M.; MEDINA, J. A., y LEGUEY, S. (1988): *Formación de sepiolita-palygorskita en litofacies lutítico-carbonáticas en el sector de Borox-Esquivas (cuenca de Madrid)*. Estudios Geol., 44, 7-18.
- MARTIN DE VIDALES, J. L.; POZO, M.; ALIA, J. M.; GARCIA NAVARRO, F., y RULL, F. (1991): *Kerolite-stevensite mixed-layers from the Madrid Basin, Central Spain*. Clay Minerals, 26, 329-342.
- MENDUIÑA, J. (1988): *Geología y significado económico de las arcillas cerámicas de la Cuenca de Madrid*. Tesis Doctoral, UCM (inérita), 305 pp.
- NEWMAN, A. C. D., and BROWN, G. (1987): *The Chemical Constitution of Clays*. In: *Chemistry of Clays and Clay Minerals* (A. C. D. Newman, Ed.). Mineralogical Society Monograph, núm. 8. Longman Sci. Tech. London, 1-129.
- PATERSON, E., and SWAFFIELD, R. (1987): *Thermal Analysis*. In: *A Handbook of Determinative Methods in Clay Mineralogy*. M. J. Wilson (Ed.). Blackie and Son, Ltd. and London, pp. 99-132.
- POST, J. L. (1984): *Saponite from near Ballarat, California*. Clay and Clay Miner., 32, 147-153.
- REDONDO, R.; CUEVAS, J.; MORENO, A.; POZO, M., y LEGUEY, S. (1991): *Propiedades superficiales de las arcillas magnéticas de la Cuenca de Madrid: Aplicación y evaluación del método del Azul de Metileno*. Bol. Soc. Esp. Min., vol. 14 (en prensa).
- SCHULTZ, L. G. (1964): *Quantitative Interpretation of Mineralogical Composition from X-Ray and Chemical Data for the Pierre Shale*. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 391C, 31 pp.
- SRODON, J. (1980): *Precise identification of Illite/Smectite Interstratifications by X-Ray Powder Diffraction*. Clays and Clay Minerals, 28, pp. 401-411.
- SRODON, J. (1981): *X-Ray Identification of Randomly interstratified Illite-Smectite in Mixtures with Discrete Illite*. Clay Minerals, 16, pp. 297-304.
- SUQUET, H.; DE LA CALLE, C., y PEZERAT, H. (1975): *Swelling and Structural Organization of Saponite*. Clays and Clay Minerals, 23, 1-9.
- TRAUTH, N. (1977): *Argiles évaporitiques dans la sédimentation carbonatée continentale et épicontinentale tertiaire. Bassins de Paris, de Mormoiron et de Salinelles (France). Ibel Ghassoul (Maroc)*. Sci. Geol., Mem., 49: 1-195.
- VAN DER MAREL, H. W. (1966): *Quantitative analysis of clay minerals and their admixtures*. Contrib. Mineral Petrol., 12, 96-138.
- WELTON, J. E. (1984): *SEM Petrology Atlas*. Ed. American Association of Petroleum Geologists, Tulsa - Oklahoma, 74101, USA, 237 pp.

Original recibido: Septiembre de 1991.

Original aceptado: Octubre de 1991.

Evolución reciente anual e hiperanual del nivel medio relativo del mar. Estación mareográfica Alicante I (1874-1987).

Por M. HERNANDEZ RUIZ (*) y F. J. AYALA-CARCEDO (**)

RESUMEN

La uniformización y enlace al datum R.L.R. 1964 de las series de valores correspondientes al nivel medio anual del mar obtenidos a partir de las medidas reflejadas en la estación mareográfica Alicante I, ha permitido analizar la idoneidad de los datos existentes desde 1874 a la actualidad, evaluándose la incidencia de algunos factores en la fiabilidad de las medidas. Esto ha permitido centrar la investigación en el rango temporal con una calidad adecuada de la información, correspondiente al período posterior a la II Guerra Mundial.

La trayectoria de las fluctuaciones a partir de mediados del siglo XX del nivel medio anual del mar, marca dos frecuencias superpuestas en el dominio del tiempo con rangos de período decenales e interanuales. Los niveles máximos se alcanzan durante los años cincuenta y sesenta, obteniéndose una amplitud respecto a los valores más bajos a comienzos de los años ochenta de 13.60 cm. (1969-1982).

A partir de los datos publicados por otros autores referentes a las formaciones marinas cuaternarias existentes en el entorno local de Alicante, se ha reconocido la escasa repercusión en los valores de la componente neotectónica, con rangos inferiores a +0.1 mm/año.

En el contexto anual las trayectorias marcadas son asimétricas, con máximos generalmente en noviembre y mínimos en febrero-marzo. La amplitud máxima de los niveles medios mensuales para el período 1982-1987 supera los 25 cm., aproximadamente el doble de los niveles medios anuales, con 13.60 cm. para el intervalo temporal 1950-1984.

Finalmente, el análisis estadístico de las series hiperanuales de la temperatura media anual del aire y el nivel medio anual del mar, sugiere que la suave variación temporal de las temperaturas registradas en Alicante entre 1950 y 1984, presentan una respuesta en las tendencias del nivel medio anual del mar con un retraso en torno a tres años y un gradiente de unos 3 cm/°C para los registros obtenidos en la estación mareográfica Alicante I y el período temporal considerado.

Palabras clave: Cambio del nivel del mar, Mediterráneo, España.

ABSTRACT

The data of values of the average annual sea level obtained from the measurements kept in the mareograph-station Alicante-I where made uniform and joined to the datum R.L.R. 1964, has made it possible for an analysis to be made of the corresponding data that has existed from 1874 to the present, evaluating the incidence of some factors on measures reliability. This has made it possible for the investigation to be centred on the period corresponding to the post Second World War with sufficient accuracy.

The fluctuations curve of the average annual sea-level since the middle of the twentieth century shows two overlapping frequencies with time spans of ten yearly and interannual periods. Maximum levels are reached during the nineteen fifties and sixties, showing an amplitude of 13.60 cms (1969-1982) in comparison with the lower values at the beginning of the nineteen eighties.

From the data published by other authors referring to the quaternary marine formations existing in the area of Alicante, we can recognize scarce influence on the average annual values from the neotectonic component with a range inferior to +0.1 mm/year.

(*) Area de Ingeniería GeoAmbiental. Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

In the annual context the marked curves are asymmetric with maximum values generally in November and minimum in February-March. The maximum amplitude of the curve of the mean monthly levels of the period 1982-1987 is more than 25 cms, which is approximately double the mean annual levels with 13.60 cms for the years 1950-1984.

Finally, statistic analysis of the hiperannual series of the annual mean air temperature and the annual mean sea-level suggest that the gradual variation of the temperatures registered in Alicante between 1950 and 1984 are explained in the tendencies of the mean sea level with a delay of approximately three years and a gradient of about 3 cm/°C, obtained in the mareograph-station Alicante I and the period of time in consideration.

Key words: Sea level change, Mediterranean, Spain.

1. INTRODUCCION

La evaluación de las posibles repercusiones antrópicas en los ciclos naturales de la Geosfera, y sus presumibles consecuencias ambientales, constituye una de las líneas de investigación prioritaria a nivel mundial.

El diagnóstico de las variaciones recientes del nivel medio del mar, su prospectiva, y las alternativas estratégicas para mitigar sus efectos ambientales, son algunos de los aspectos considerados con mayor interés dentro de la problemática del Cambio Global. De hecho, la realización de los análisis expuestos más adelante, fue fruto de la necesidad de conocer la variación del nivel del mar con vistas a su incidencia en la dinámica sedimentaria-erosiva del litoral, al no encontrar un estudio específico en nuestro país sobre este aspecto. Por otra parte, el conocimiento de estas variaciones del nivel del mar es necesario para el diseño y explotación de obras portuarias y costeras.

Como punto de partida para comprender el posible alcance de las alteraciones inducidas en los ciclos naturales, ante la intensificación de las actividades humanas, es necesario la adopción de un marco de referencia temporal para el análisis de la información.

Los registros mareográficos más antiguos comienzan en España a finales del siglo XIX, con las estaciones del Instituto Geográfico Nacional denominadas Alicante I, Santander I y Cádiz. Si bien, respecto a la continuidad de los registros estas dos últimas estaciones presentan importantes lagunas en las series de datos.

Por otra parte, en el ámbito internacional, el Servicio Permanente para el Nivel Medio del Mar (PSMSL), creado en 1933 y actualmente bajo los auspicios de la UNESCO, publica desde 1940 la información que recoge y analiza de las estaciones mareográficas a nivel mundial. A partir

de marzo de 1968 se modifica el sistema en la publicación de datos debido fundamentalmente a problemas geodésicos, introduciéndose el concepto de Referencia Local Revisada (R.L.R.).

Este «datum» para las series del nivel relativo del mar se define como un número entero en decímetros por debajo de la primera señal del mareógrafo (TGBM), indicándose el año de establecimiento. En el caso de la estación mareográfica Alicante I, el R.L.R. está implantado en el año 1965 con cota -10.400 m., referido al N.P. - 1, base principal de la red geodésica española.

La publicación, en 1976, por el PSMSL, de los volúmenes titulados «Monthly and Annual Mean Heights of Sea Level», con registros provenientes de los centros colaboradores, debidamente referenciados, clasificados y uniformizados, supuso un importante hito en los estudios de los cambios recientes del nivel medio del mar, al observarse una suave tendencia generalizada en el aumento de las medidas relativas de los niveles medios anuales.

Finalmente, las presumibles consecuencias de estas alteraciones requiere una integración multidisciplinar para la evaluación de sus efectos y el desarrollo de medidas para su mitigación.

2. ANALISIS DE LAS MEDIDAS MAREOGRAFICAS DEL NIVEL DEL MAR. ALICANTE I (1874-1987)

2.1. Consideraciones preliminares

El tratamiento de los datos mareográficos para investigaciones fenomenológicas a escala global, implica un conocimiento profundo de la contribución de distintos factores e interacciones con influencia en la estocasticidad de las medidas.

Las series de información provenientes de estaciones mareográficas costeras reflejan un registro, susceptible de ser adquirido con distintos sistemas de medida, de las variaciones relativas en el nivel local de la superficie del agua litoral próxima al emplazamiento de la estación.

Un aspecto fundamental inherente a la información registrada, es la representatividad de las medidas en estudios de tendencias en el ascenso o descenso del nivel medio del mar de los mareógrafos emplazados en bahías, deltas, estuarios, lagoones, rías..., frente a los situados en áreas de costa abierta y plataformas marinas, debido a la susceptible degradación por diferentes influencias de la señal (CREAN et al., 1988; NRC, 1987).

Otras consideraciones en este sentido son los efectos originados por la propia configuración de la estación mareográfica, rango de precisión

de los aparatos de medida, deriva instrumental, calibración, mantenimiento logístico, etc.

2.2. Análisis general de los niveles medios anuales. Alicante I (1874-1987)

Las estaciones mareográficas existentes a nivel mundial se encuentran comúnmente emplazadas en infraestructuras portuarias. Este hecho, junto con el historial de incidencias de la propia instalación, aportan interesantes aspectos de cara a la valoración de la información registrada.

La homogeneización y enlace al datum R.L.R. 1965 de las series de valores referentes al nivel medio anual del mar a partir del tratamiento de los registros obtenidos en la estación mareográfica Alicante I (tabla I), ha permitido la representación de estas variaciones relativas desde 1874 a 1987 (fig. 1).

TABLA I

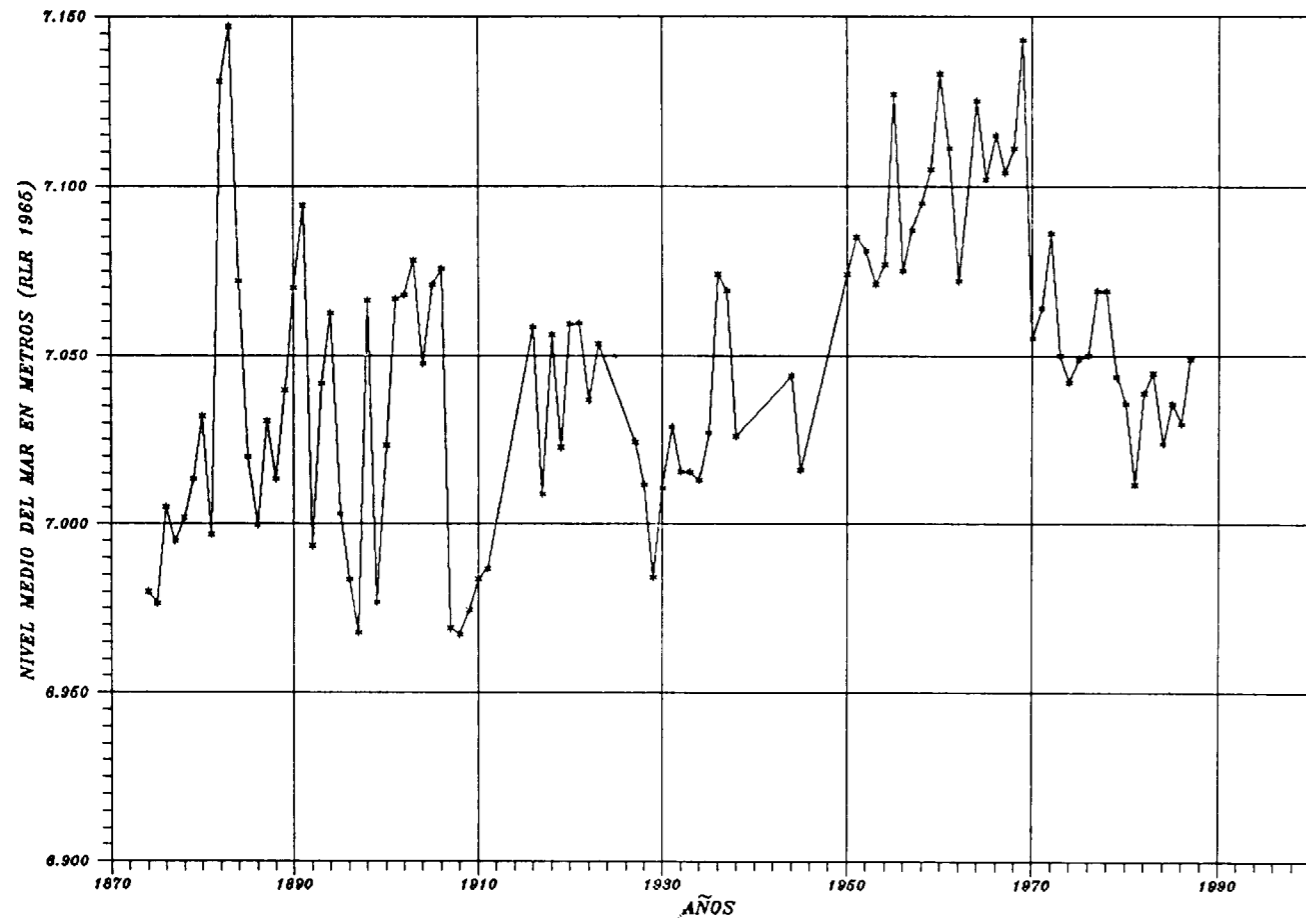
Características de las series de valores del nivel medio anual del mar Estación Mareográfica Alicante I. Fuente de información: Instituto Geográfico Nacional

Base de referencia de las medidas	Cota asignada o valor de enlace entre bases	Período temporal de los datos registrados	Años sin información	Años de solape con datos de otras referencias
NP. - 1	CERO	{1874-1934}	{1912-1915}, {1925-1926}	NAP. H. - 270 {1927-1934}
		{1970-1978}	—	—
NAP.H. - 270	(NP. - 1) - (NAP.H. - 270) = -2.165 m.	{1927-1969}	1933, {1939-1943}, {1946-1949}	NP. - 1 {1927-1934} R.L.R. 1965 {1952-1961} {1965-1969}
		{1979-1984}	1963	R.L.R. 1965 {1979-1984}
R.L.R. 1965	-10.400 m. respecto NP. - 1	{1952-1969}	{1962-1964}	NAP.H. - 270 {1952-1961} {1965-1969}
		{1979-1987}	—	NAP.H. - 270 {1979-1984}

NP: Nivelación de precisión; NAP.H.: Nivelación de alta precisión línea H.; R.L.R.: Referencia local revisada.

MAREOGRAFO ALICANTE I (1874-1987)

Variaciones medidas del nivel medio del mar. Datum R.L.R. 1965
Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos IGN



R.L.R.: Referencia local revisada (-10.400 m. referido N.P. - 1).

Figura 1.—Trayectoria de los niveles medios anuales del mar calculados a partir de los registros obtenidos en la estación mareográfica Alicante I. La amplitud máxima en los últimos 113 años de estas variaciones relativas es de unos 18 cm.

El tratamiento por parte de algún investigador referente a estas curvas, ha consistido en aplicar procedimientos estadísticos y matemáticos «a priori», para dar paso a razonamientos causales, sin evaluar los factores incidentes en la aleatoriedad de las medidas. La aplicación directa de coeficientes de correlación, ajustes, regresiones, etc., a los valores en bruto o filtrados, ha dado lugar a la consideración de determinados rangos de variación del nivel del mar a lo largo de los últimos cien años. Sin embargo, en algunas ocasiones las fluctuaciones originadas por los factores que afectan a la incertidumbre

experimental, y la singularidad de algunos datos anómalos o defectuosos implica la degradación por estos ruidos de la señal, hasta imposibilitar en la práctica su uso con la fiabilidad requerida.

La trayectoria de los niveles medios anuales en la estación Alicante I presenta unas fluctuaciones interanuales y decenales con valores máximos de 7.147 m. en 1883 y 7.143 m. en 1969. Por otra parte, los niveles mínimos corresponden a los años 1897 y 1908, con valores inferiores a 6.968 m. Estos datos indican que *la presumible amplitud máxima del nivel medio anual del mar*

en los últimos 113 años es de unos 18 cm. para esta estación mediterránea.

Previamente al tratamiento estadístico de los datos, se ha procedido a una depuración minuciosa de los mismos, con objeto de llegar a resultados fiables.

Algunas acciones y factores importantes en la estocasticidad de los valores son los cambios en el sistema de medida, variaciones en el emplazamiento, acciones constructivas, ingerencia antrópica en los procesos naturales, etc.

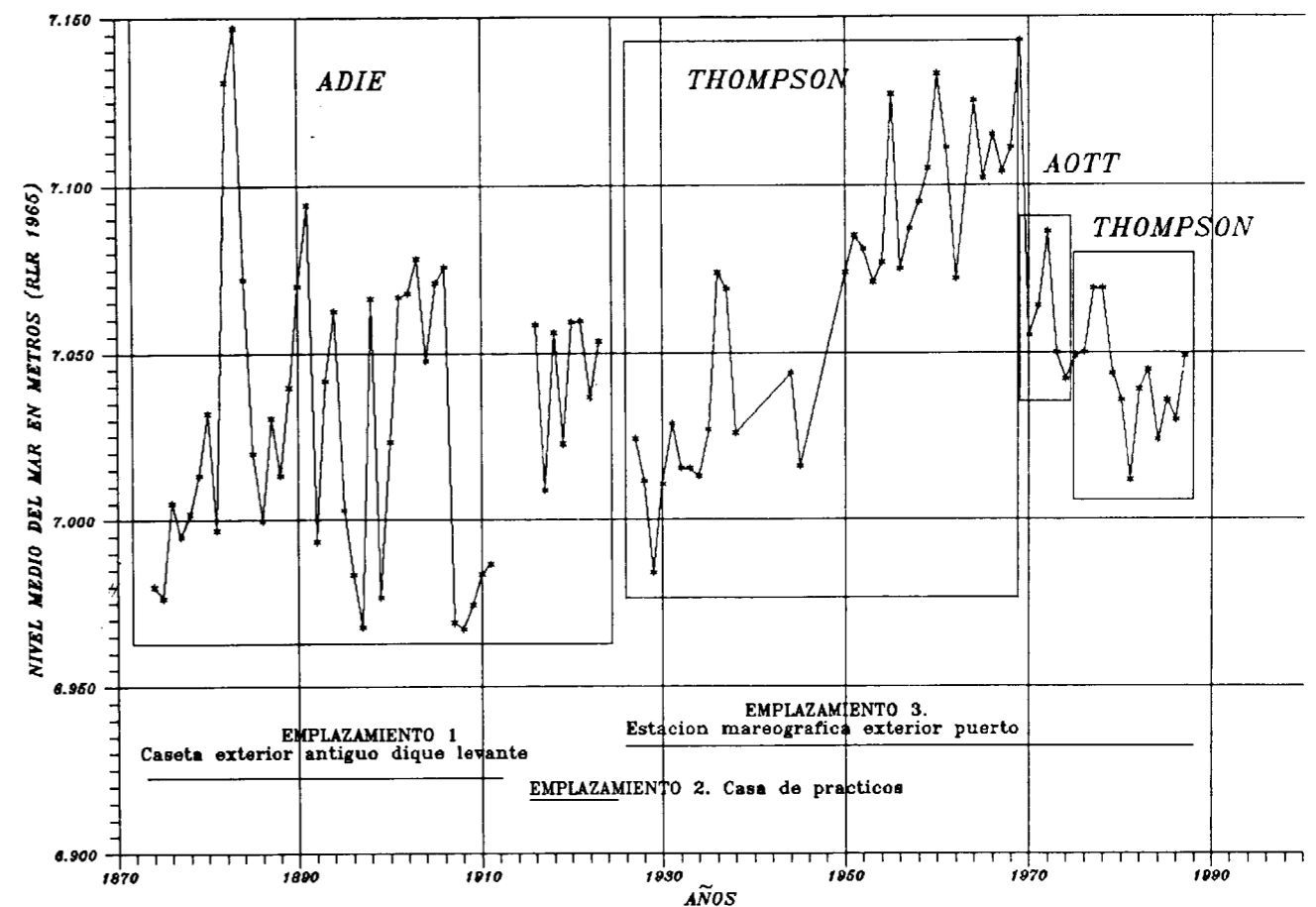
En la figura 2 se exponen, conforme al rango

temporal de actuación, los distintos sistemas mareográficos de medida y los emplazamientos de la estación dentro de la infraestructura del Puerto de Alicante. Los aspectos más destacables son:

— Sistema Mareográfico

Existe una alta variabilidad de los datos adquiridos con el sistema ADIE, reflejando la documentación histórica existente en el IGN los siguientes aspectos (MAS, 1971):

MAREOGRAFO ALICANTE I (1874-1987)
Emplazamientos de la estación — Sistemas mareográficos de medida
Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos IGN



R.L.R.: Referencia local revisada (-10.400 m. referido N.P. - 1).

Figura 2.—Análisis de algunos factores intrínsecos a la estación mareográfica Alicante I con influencia en la estocasticidad de las medidas. Se observa una gran amplitud en las fluctuaciones interanuales de los niveles medios referentes al sistema ADIE y un claro salto en la serie coincidente con el cambio al emplazamiento de la casa de prácticos.

- «De 1874 a 1911 funcionó un aparato ADIE (con poca utilidad en sus datos) y con algunas interrupciones.»
- «En la Casa de Prácticos siguió funcionando el aparato ADIE, pero muy mal, por múltiples averías, casi todas causadas por una mala comunicación con el mar.»

— Emplazamiento

Es un factor transcendental que engloba un marco amplio de procesos e interacciones con influencia en las medidas registradas. Los datos

adquiridos entre 1916 y 1923 en la Casa de Prácticos presentan un claro salto respecto a las series de valores en los emplazamientos contiguos. Este hecho puede estar preferentemente motivado por «una mala comunicación con el mar (MAS, 1971), problemas de referenciación o presumible incidencia del cambio en las condiciones hidrodinámicas.

Desde otro punto de vista, el *carácter dinámico de los puertos*, con continuas actividades y obras de ampliación, mejora, etc., presenta una acentuada influencia en las fluctuaciones de los valores para los niveles medios anuales del mar (fig. 3).

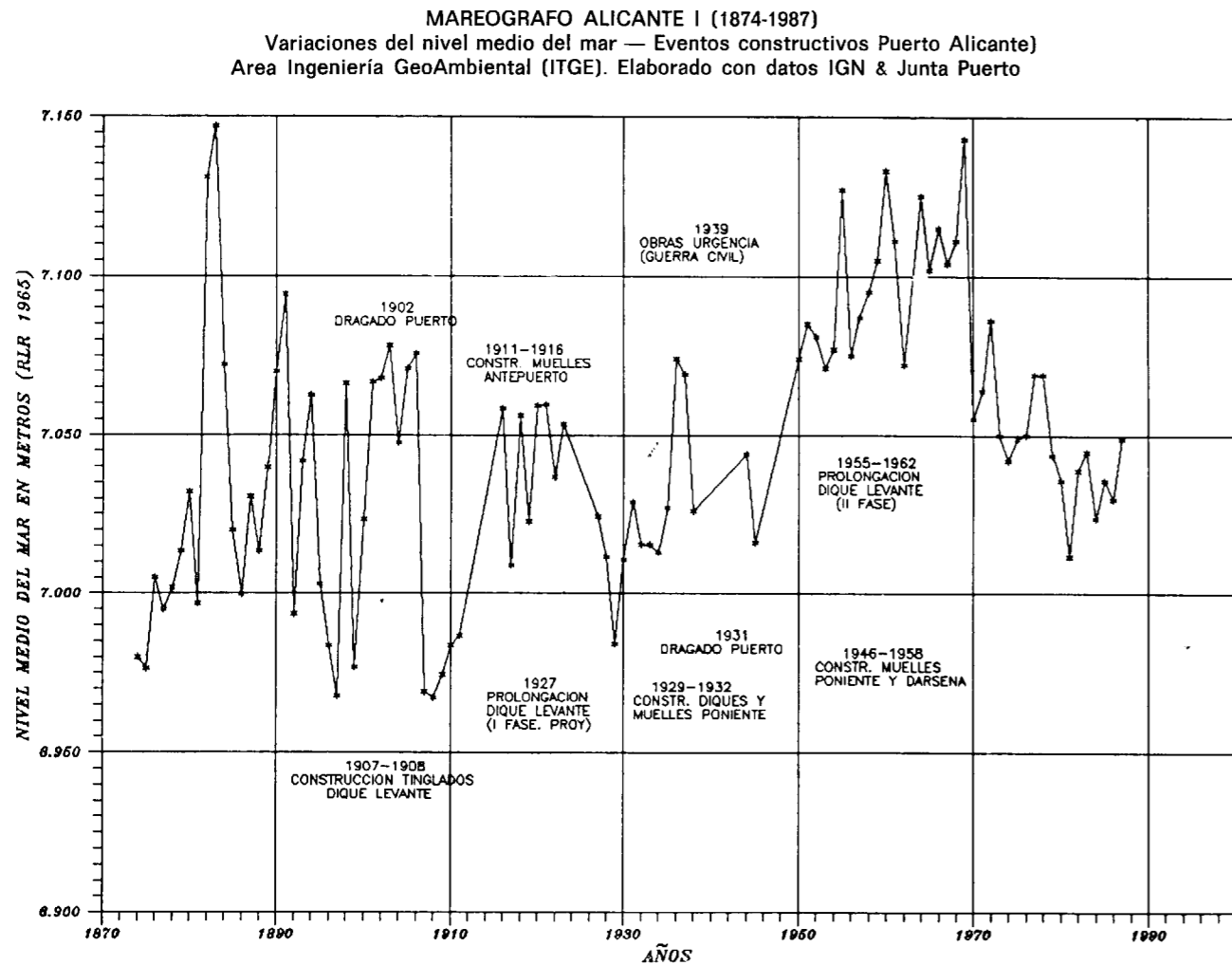


Figura 3.—Las distintas actividades constructivas realizadas en el entorno de la estación mareográfica Alicante I pueden ocasionar algunas fluctuaciones en los datos.

En este caso se observa que, después de la construcción de los tinglados en 1907-1908, se origina un ascenso relativo del nivel medio del mar de 1.95 cm. en los tres años siguientes, presumiblemente motivado por el asentamiento del dique ante las cargas transmitidas al terreno. Por otra parte, el adoquinado del muelle de Levante en 1907 coincide con un descenso relativo del nivel medio del mar de 10.65 cm., quizá asociado a problemas de referenciación.

La excelente organización y conservación del archivo histórico perteneciente a la Junta del Puerto de Alicante, ha permitido detallar el alcance de los proyectos realizados a partir del año 1900. Estos datos evidencian una intensa actividad constructiva en el entorno próximo al emplazamiento del mareógrafo hasta finales de los años cuarenta. Por otra parte, las características constructivas del dique en el cual se sitúa la estación y las propiedades geotécnicas del terreno sobre el que se transmiten las cargas, justifica la incidencia de continuas obras de pavimentación, nivelación y mejora del firme: 1907, 1915, 1916, 1918, 1921, 1926, 1931 y 1939.

Finalmente, una perspectiva general de la curva obtenida en la estación mareográfica de Alicante marca tanto con procedimientos matemático-estadísticos como de forma intuitiva visual dos poblaciones. La población anterior a los años cincuenta presenta una variabilidad alta y lapsos informativos importantes, consecuencia de la problemática anteriormente expuesta. Sin embargo, los datos existentes a partir de la mitad de este siglo presentan una incertidumbre menor, considerándose de mejor calidad para posteriores análisis de la información. Por consiguiente, más del 50 por 100 del período temporal con registro inicialmente examinado no es presumiblemente útil dado su rango residual de incertidumbre, para estudios sobre la evolución del nivel medio anual del mar, por lo que los análisis siguientes se centrarán en el período 1950-1984.

3. CONSIDERACIONES SOBRE LAS VARIACIONES DEL NIVEL MEDIO DEL MAR, ESTACION MAREOGRAFICA ALICANTE I (1950-1984)

Los factores naturales más trascendentes y

significativos que inciden en las variaciones actuales del nivel medio del mar, van a venir determinados fundamentalmente por su alcance temporal, y las repercusiones originadas por la magnitud de sus fenómenos asociados.

Los datos existentes muestran, a partir de los años cincuenta, tal y como se ha expuesto en el apartado anterior, una influencia significativamente menor, de los ruidos «técnicos» fuera del contexto natural de los procesos: modificaciones en los sistemas de medida, cambios en los emplazamientos, actuaciones constructivas, movimientos relativos en el cuerpo del dique, consolidación del sustrato ante las cargas transmitidas, etc. Por otra parte, dentro de este período temporal se han considerado satisfactorios los distintos procedimientos empleados para la determinación de los valores mensuales y anuales del nivel medio, a partir de los registros. Sin embargo, los datos originales referidos al R.L.R. 1965 (véase tabla I), se encuentran procesados corrigiendo los defectos en cuanto al número de días de observación en cada mes.

Desde el punto de vista de la homogeneidad en la información y la obtención de una mayor continuidad temporal en las observaciones tratadas con los mismos criterios, se han considerado únicamente en este caso los datos enlazados al datum correspondientes a las series originales con referencia N.P. - 1 y NAPH - 270 del IGN.

La trayectoria de las fluctuaciones entre 1950 y 1984 del nivel medio anual del mar en Alicante, marcan dos frecuencias superpuestas en el dominio del tiempo con una *amplitud total máxima de 13.60 cm.* (1969/1982). El carácter hiperanual con rango decenal correspondiente a la frecuencia de mayor ámbito, presenta los niveles máximos durante los años cincuenta y sesenta, alcanzándose el mínimo a comienzos de los años ochenta. El intervalo temporal considerado no refleja un período completo, estimándose el rango del semiperíodo entre 11 y 19 años, con una amplitud aproximada de 9 cm. Por otra parte, las frecuencias más altas presentan un rango temporal de sus períodos entre 3 y 9 años, y amplitudes que alcanzan los 6 cm.

La incidencia de la *componente neotectónica* en la curva de variación se ha evaluado a partir de las dataciones absolutas de los niveles marinos cuaternarios existentes y su altitud, en el

MAREOGRAFO ALICANTE I (1874-1984)
Variaciones del nivel medio del mar. Aplicación filtro paso bajo (1950-1984)
Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos IGN

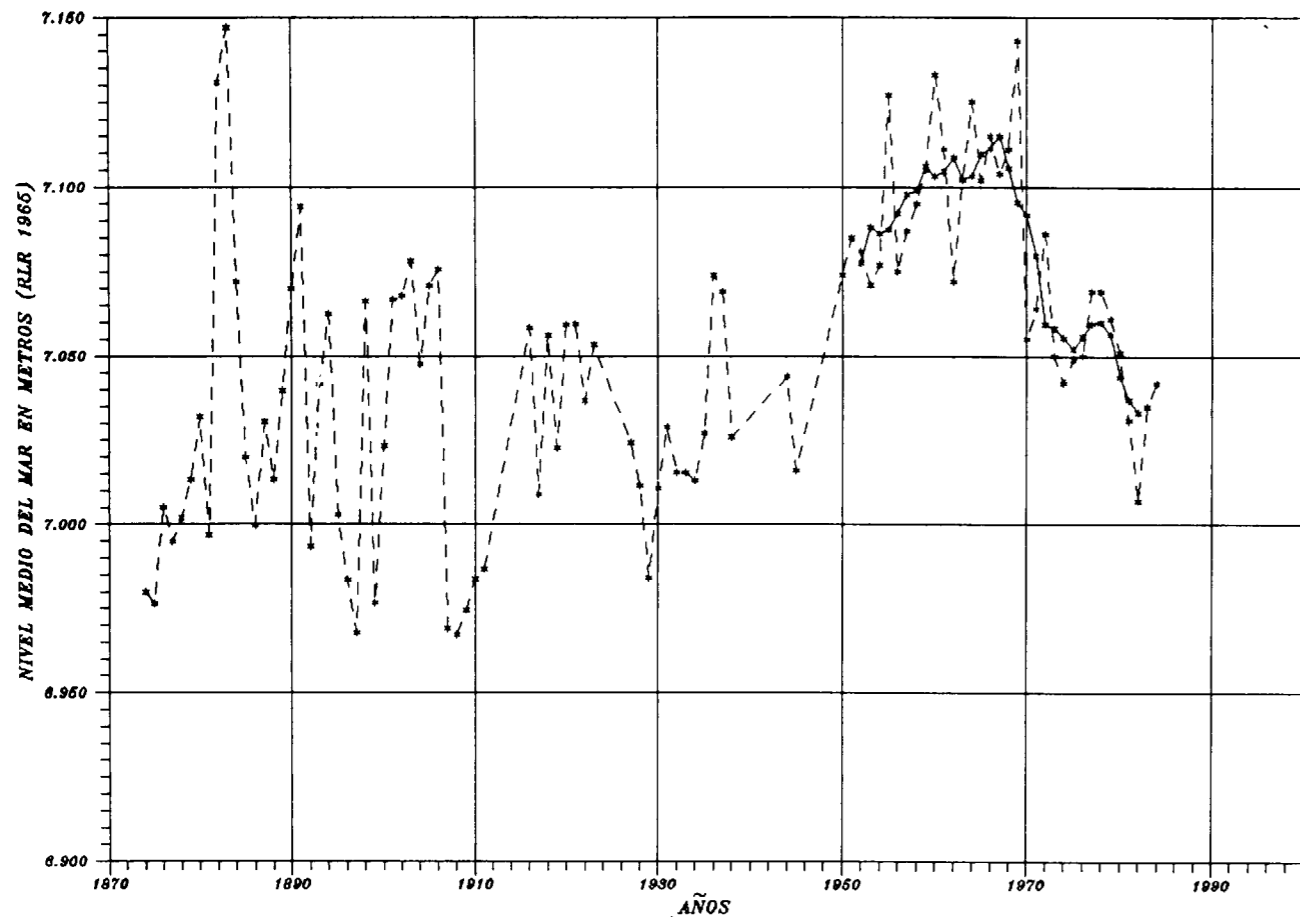


Figura 4.—Las variaciones del nivel medio anual del mar a partir de 1950 indican un importante descenso durante la década de los años setenta.

entorno local a la ciudad de Alicante (FLORES et al., 1987; HEARTY et al., 1987; SOMOZA et al., 1987; SOMOZA, 1989; ZAZO et al., 1987). La componente neotectónica considerada es de levantamiento cortical con un coeficiente que en ningún caso supera $+0.1$ mm/año, siendo despreciable este rango en la escala temporal de trabajo dada la magnitud centimétrica de las amplitudes reflejadas en los valores del nivel medio anual del mar.

El análisis preliminar de otros factores con posibles repercusiones como la eustasia geoidal, eustasia glacial o algunos aspectos específicos tectono-eustáticos, refleja la escasa magnitud de estos fenómenos en el caso estudiado, con efec-

tos más significativos a largo plazo (BERRYMAN, 1987; CHAPPELL, 1987; DEVOY, 1987; MORNER, 1987 a y b; PELTIER, 1987; ZAZO et al., 1988).

4. LA EVOLUCION ANUEL E HIPERANUAL DEL NIVEL MEDIO RELATIVO DEL MAR

La presencia de fluctuaciones hiperanuales e interanuales del nivel medio del mar son «sensu estricto» consecuencia del efecto sinérgico de un conjunto de factores eustáticos que interactúan directa o indirectamente con los grandes ciclos de la Geosfera.

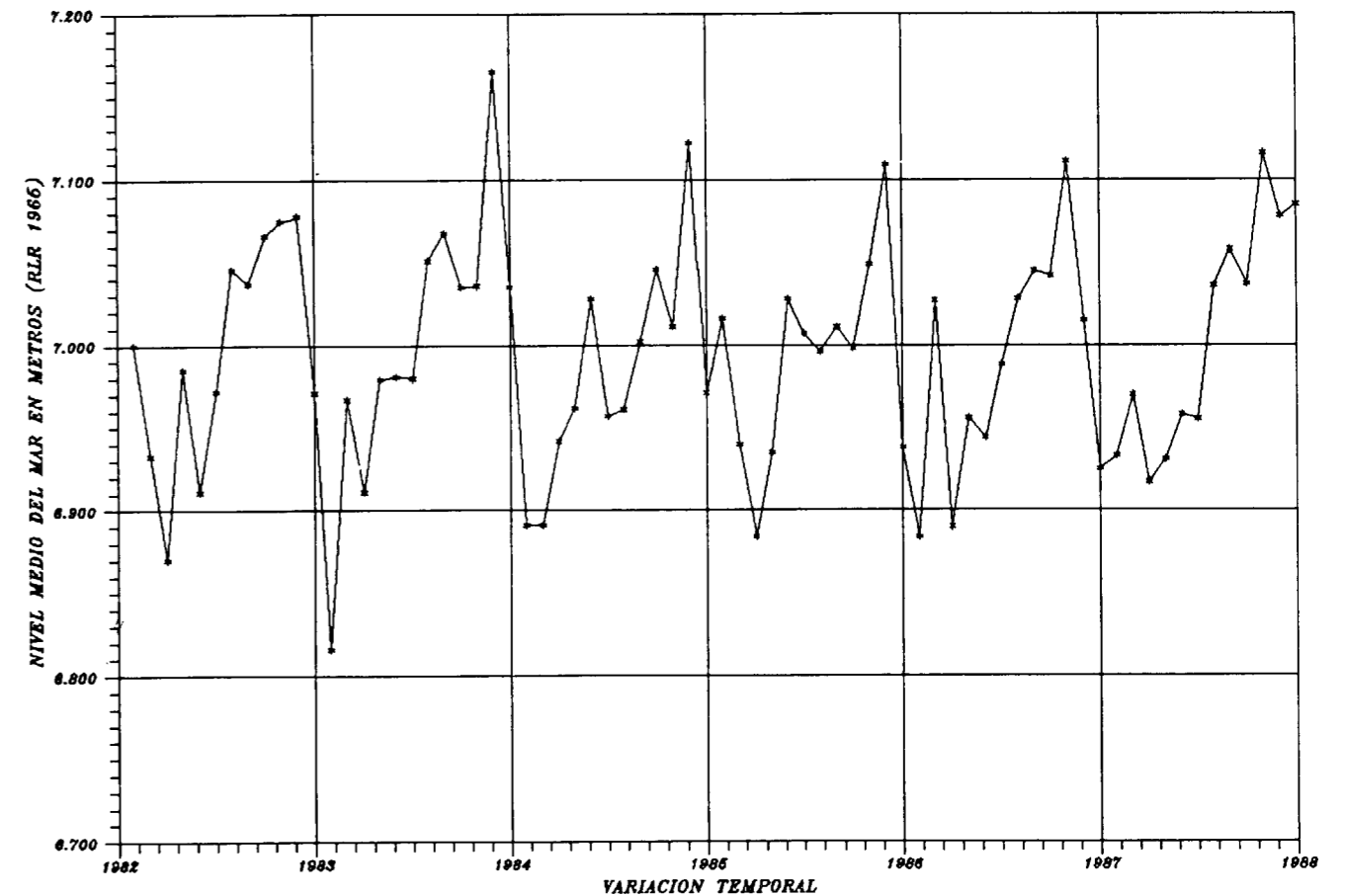
Con objeto de determinar los elementos signi-

ficativos que intervienen en el balance eustático, se ha trabajado en primera instancia con la variación anual de los niveles medios mensuales. El marco de referencia temporal adoptado corresponde a la serie de alta calidad uniformizada y corregida por el Servicio Permanente para el Nivel Medio del Mar que va desde 1982 a 1987 (fig. 5).

En este contexto anual, las trayectorias marcadas son asimétricas, con máximos generalmente

en noviembre y mínimos en febrero-marzo. Estos datos reflejan que en el transcurso del invierno se originan descensos de los niveles medios mensuales del mar que superan los 25 cm., casi el doble de la amplitud máxima del nivel medio anual, de 13.60 cm. en el periodo 1950-1984. El análisis comparativo con las fluctuaciones observadas en otras estaciones indica tendencias similares anuales dentro del contexto del Mediterráneo Occidental (PSMSL, 1976; SANJAUME, 1985; GOLDSMITH, 1986).

MAREOGRAFO ALICANTE I (1982-1987)
Variaciones mensuales del nivel medio del mar. Datum R.L.R. 1965
Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos IGN



R.L.R.: Referencia local revisada (-10.400 m. referido N.P. - 1).

Figura 5.—Trayectorias anuales de los niveles medios mensuales del mar. Obsérvese su marcada periodicidad y los drásticos descensos que se originan sistemáticamente durante el invierno, con diferencias mensuales en los valores que alcanzan los 17 cm. (noviembre-diciembre 1985).

Estos aspectos han permitido desarrollar una investigación en detalle sobre sus relaciones causales (HERNANDEZ RUIZ, 1991). Las implicaciones fenomenológicas significativas en este ámbito apuntan a factores climáticos (temperatura y presión atmosférica), y fenómenos holostéricos ligados principalmente al singular funcionamiento del estrecho de Gibraltar.

Por otra parte, a nivel hiperanual, existe una alta relación puesta de manifiesto por algunos autores (AYALA-CARCEDO, 1990; BRYANT, 1988; CRPHI., 1979; FAIRBRIDGE et al., 1990; GORNITZ et al., 1982; HANSEN et al., 1981; JELGERSMA, 1990; KONDRATYEV, 1988; PARDO PASQUAL, 1989; PIRAZZOLI, 1990; PITTOCK, 1988; TITUS, 1987; THOM et al., 1988), entre las varia-

ciones anuales de la temperatura media del aire y el nivel medio anual del mar (véase figs. 4 y 6).

La estudentización y correlación de ambas curvas implica en principio un coeficiente de correlación lineal de 0.41, influenciado por las altas frecuencias de variabilidad anual e interanual. Por otra parte, la aplicación de un filtro de paso bajo que destaque la curva hiperanual de baja frecuencia indica un coeficiente de correlación de 0.85 para desfases temporales de dos y tres años, lo cual sugiere una relación fenomenológica causal, en el sentido de que la suave variación de las temperaturas medias anuales del aire haya influido en la variación del nivel medio del mar.

VARIACION ANUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE EN ALICANTE (1874-1987)
Aplicación filtro paso bajo (1950-1984)
Area Ingeniería GeoAmbiental (ITGE). Elaborado con datos del INM

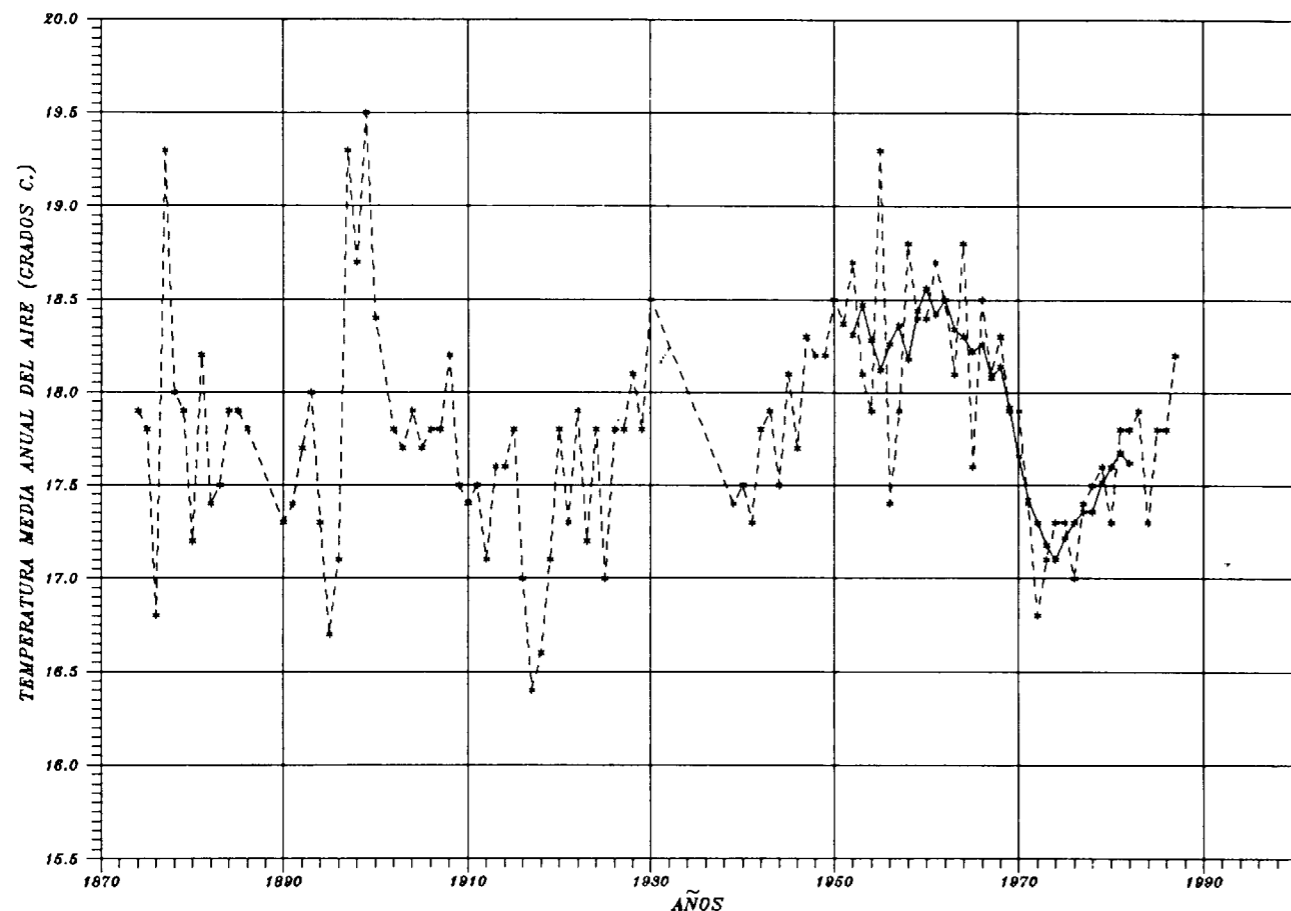


Figura 6.—Las tendencias a partir de los años cincuenta en la temperatura del aire presentan una gran similitud con las observadas en los niveles medios anuales del mar, si bien con un cierto desfase temporal evaluado en unos tres años.

ALICANTE I (1950-1984)
Temperatura — Nivel medio del mar

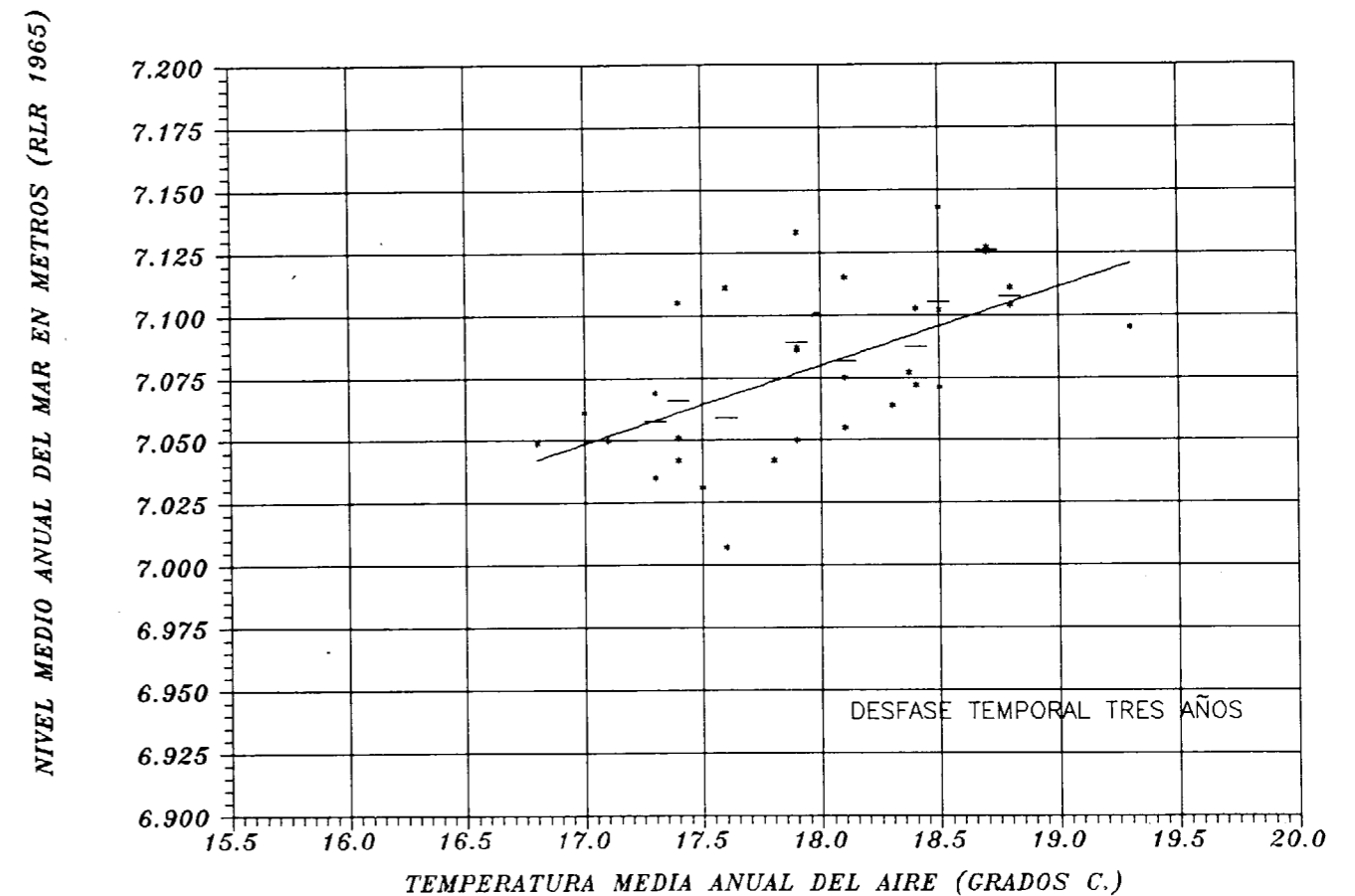


Figura 7.—Relación entre los valores de los niveles medios anuales del mar y la temperatura media anual del aire, para un desfase temporal de tres años. Los valores están sin filtrar (1950-1984).

Finalmente, el análisis con distintas herramientas estadísticas sobre los datos indican que el *desfase temporal* más ajustado entre la temperatura media anual del aire y el nivel medio anual del mar en el ámbito hiperanual del caso estudiado se encuentra en torno a los tres años, con un *gradiente* para el período temporal considerado en torno a $3 \text{ cm}/^\circ\text{C}$ (véase fig. 7).

Las presumibles implicaciones causales de esta dinámica hiperanual en el contexto de la estación mareográfica Alicante I incide en un primer momento en la tendencia climática de la temperatura del aire, sugiriendo que en su interacción con los fenómenos oceanográficos de ca-

rácter térmico (expansión-contracción térmica) origina en este ámbito litoral, con un retraso en torno a tres años, cambios en el nivel medio anual del mar de unos $3 \text{ cm}/^\circ\text{C}$ para la *variación temporal de las temperaturas registradas entre 1950-1984, de carácter oscilante (estabilidad - bajada - subida)*.

5. CONCLUSIONES

La uniformización y enlace al datum R.L.R. 1965 de las series de valores referentes al nivel medio anual del mar, a partir de los registros obte-

nidos en la estación mareográfica Alicante I, ha permitido la representación de estas variaciones relativas con un período temporal que comprende desde 1874 a 1987.

El análisis de algunos aspectos intrínsecos y extrínsecos al sistema con influencia en la estocasticidad de las medidas, implica rangos significativos de incertidumbre en los valores anteriores a 1950.

La trayectoria de las fluctuaciones del nivel medio anual del mar, a partir de mediados de este siglo, marca dos frecuencias superpuestas en el dominio del tiempo con una amplitud total máxima de 13.60 cm. (1969/1982). En el ámbito hiperanual el rango del semiperíodo es decenal, con una amplitud aproximada de 9 cm., alcanzándose los niveles máximos durante los años cincuenta y sesenta dentro del intervalo temporal considerado (1950-1984). Las frecuencias más altas presentan un rango interanual de sus períodos entre tres y nueve años, con amplitudes que alcanzan los 6 cm.

La componente neotectónica para el entorno del Puerto de Alicante se ha evaluado a partir de las dataciones absolutas publicadas por otros autores de las formaciones marinas cuaternarias existentes y su altitud. La información analizada apunta un *ratio* que no supera el valor de +0.1 mm/año, siendo despreciable este rango en la escala temporal de trabajo, dada la magnitud centimétrica de las amplitudes reflejadas en los valores del nivel medio anual del mar.

El análisis preliminar de otros factores con posibles repercusiones como la eustasia geoidal, eustasia glacial o algunos aspectos específicos tectono-eustáticos, indica la escasa magnitud de estos fenómenos en el caso estudiado con efectos más significativos a largo plazo.

En el contexto anual, las trayectorias marcadas por los niveles medios mensuales son asimétricos, con máximos generalmente en noviembre y mínimos en febrero-marzo. Los valores de amplitud superan los 25 cm., durante el período considerado, casi el doble que en la serie hiperanual (1950-1984).

El tratamiento estadístico de las variaciones anuales de la temperatura media del aire y el nivel medio anual del mar sugiere la existencia de una relación fenomenológica con un cierto desfase temporal.

Las presumibles implicaciones causales inciden en un primer momento en la tendencia climática de la temperatura del aire, sugiriendo que en su interacción con los fenómenos oceanográficos de carácter térmico (expansión - contracción térmica) origina en este ámbito litoral, con un retraso en torno a tres años, cambios en el nivel medio anual del mar, con un gradiente de unos 3 cm/° C para la variación temporal de las temperaturas registradas entre 1950 y 1984 en Alicante.

Serán necesarios análisis específicos, apoyados en una red de medida y registro de temperaturas y salinidad del agua a varias profundidades, para valorar con fines predictivos el efecto sobre el nivel medio anual del mar de otras hipótesis temporales de variación de la temperatura del aire.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su especial agradecimiento a D. José María Catalán Alonso, Doctor Ingeniero de Minas, por su valiosa ayuda en el tratamiento y análisis estadístico de los datos, y a D. Miguel Simón Garrido Ruiz, Geólogo e Ingeniero Técnico de Obras Públicas, por su aportación en problemas específicos.

Asimismo, es importante resaltar la colaboración de D. Antonio Barbadillo, Ingeniero Geógrafo Jefe del Servicio de Geodesia del Instituto Geográfico Nacional, y de D. Enrique Jiménez, Ingeniero Técnico en Topografía, encargado de los registros mareográficos que amablemente facilitaron los datos base del presente trabajo y atendieron personalmente las dudas surgidas en su uniformización.

Por otra parte, es necesario agradecer a D. Carlos Torres, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Director del Puerto de Alicante, la excelente disposición prestada para la consulta del archivo histórico perteneciente a la Junta.

Finalmente, destacar la colaboración de María Lions y Silke Merayo en la revisión del texto en inglés.

El presente trabajo se integra en el Proyecto I+D en Geología Ambiental desarrollado en el Área de Ingeniería GeoAmbiental del Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

REFERENCIAS

- AYALA-CARCEDO, F. J. (1990): *Extraterrestrial Impacts, Volcanoes, Climate and Sea Level*. En: *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought NATO ASI Serie C: Mathematical and Physical Sciences*, vol. 325. Kluwer Academic Publishers, Holanda, pp. 199-216.
- BERRYMAN, K. (1987): *Tectonic Processes and their Impact on the Recording of Relative Sea-Level Changes*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 127-161.
- BRYANT, E. (1988): *Sea-Level Variability and its Impact within the Greenhouse Scenario*. En: *Greenhouse: Planning for Climate Change*. PEARMAN, G. I. (Ed.). CSIRO. Melbourne, Australia, pp. 135-146.
- CHAPPELL, J. (1987): *Ocean Volume Change and the History of Sea Water*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 33-56.
- COMITE RUSO DEL PROGRAMA HIDROLOGICO INTERNACIONAL (1979): *Balance Hídrico Mundial y Recursos Hidráulicos de la Tierra*. Instituto de Hidrología de la UNESCO, Comité Español para el Programa Hidrológico Internacional (Ed.), Madrid, 890 pp.
- CREAN, P. B.; MURTY, T. S., y STRONACH, J. A. (1988): *Mathematical Modelling of Tides and Estuarine Circulation, the Coastal Seas of Southern British Columbia and Washington State*. Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies, vol. 30, Springer-Verlag, R. F. A., 471 pp.
- DEVOY, R. J. N. (1987): *First Principles and the Scope of Sea-Surface Studies in Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 1-30.
- FAIRBRIDGE, R. W., y JELGERSMA, S. (1990): *Sea Level*. En: *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought*. NATO ASI Series. Serie C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 325. Kluwer Academic Publishers, Holanda, pp. 117-143.
- FLORES, J. A.; CIVIS, J.; GONZALEZ DELGADO, J. A., y PORTA, J. (1987): *Paleontology and Taphonomy of the Tyrrhenian in the Neighbourhood of Alicante*. En: *Late Quaternary Sea Level Changes in Spain*. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, vol. 10. ZAZO, C. (Ed.), CSIC, Madrid, pp. 109-139.
- GOLDSMITH, V., y GILBOA, M. (1986): *Mediterranean Sea Level Changes from Tidal Records*. XX Int. Coastal Engineering. Taiwan, pp. 223-231.
- GORNITZ, V.; LEBEDEF, S., y HANSEN, J. (1982): *Global Sea Level Trend in the Past Century*. Science, vol. 215, pp. 1611-1614.
- HANSEN, J.; JOHNSON, D.; LACIS, A.; LEBEDEF, S.; LEE, P.; RIND, D., y RUSSELL, G. (1981): *Climate Impact of Increasing Atmospheric Carbon Dioxide*. Science, vol. 213, pp. 957-966.
- HEARTY, P. J.; HOLLIN, J. T., y DUMAS, B. (1987): *Geochronology of Pleistocene Littoral Deposits on the Alicante and Almería Coast of Spain*. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, vol. 10. ZAZO, C. (Ed.). CSIC. Madrid, pp. 95-107.
- HERNANDEZ RUIZ, M. (1991): *Consideraciones sobre la Evolución Anual del Nivel Medio Relativo del Mar. Estación Mareográfica Alicante I (1982-1987)*. VIII Reunión Nacional sobre Cuaternario. Valencia (en prensa).
- JELGERSMA, S. (1990): *Atmospheric, Oceanic and Climatic Response to Greenhouse and Feedback Effect*. En: *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought*. NATO ASI Series, Serie C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 325. Kluwer Academic Publishers. Holanda, pp. 75-84.
- KONDRATYEV (1988): *Climate Shocks: Natural and Anthropogenic*. Wiley series in climate and the biosphere. John Wiley & Sons, U. S. A., 296 pp.
- MAS, S. (1971): *Resumen histórico sobre los observatorios mareográficos del I. G. N. desde la iniciación del funcionamiento de los mismos hasta el momento actual*. Subdirección General de Geodesia y Geofísica. I. G. N., Madrid. Informe inédito.
- MÖRNER, N. (1987a): *Pre-Quaternary Long-Term Changes in Sea Level*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 233-241.
- MÖRNER, N. (1987b): *Quaternary Sea-Level Changes: Northern Hemisphere Data*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Hel mand Methuen Inc., N. Y., pp. 242-263.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (U.S.). COMMITTEE ON ENGINEERING IMPLICATIONS OF CHANGE IN RELATIVE MEAN SEA LEVEL (1987): *Responding to Changes in Sea Level, Engineering Implications*. National Academy Press, Washington, D. C., U. S. A., 148 pp.
- PARDO PASCUAL, J. (1989): *Oscil·lacions del Nivell Mari del Mediterrani Occidental a partir de les Dades dels Mareògrafs*. Cuad. de Geogr., 46, pp. 107-126.
- PELTIER, W. R. (1987): *Mechanisms of Relative Sea-level Change and the Geophysical Responses to Ice-water Loading*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 57-94.
- PERMANENT SERVICE FOR MEAN SEA LEVEL, F. A. G. S. (1976): *Monthly and Annual Mean Heights of Sea Level*. Institute of Oceanographic Sciences, Bidston Observatory, Merseyside, Gran Bretaña, 285 pp.
- PIRAZZOLI, P. A. (1990): *Present and Near-Future Sea-level Changes: an Assessment*. En: *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought*. NATO ASI Series. Serie C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 325. Kluwer Academic Publishers. Holanda, pp. 153-163.
- PITTOCK, A. B. (1988): *The Greenhouse Effect and Future Climatic Change*. En: *Recent Climatic Change*. STANLEY GREGORY (Ed.). Pinter Publishers. Londres, pp. 306-315.
- SANJAUME, E. (1985): *Las Costas Valencianas. Sedimentología y Morfología*. Tesis doctoral. Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Valencia, 505 pp.

SOMOZA LOSADA, L. (1989): *Estudio del Cuaternario Litoral entre Cabo de Palos y Guardamar (Murcia-Alicante). Las variaciones del nivel del mar en relación con el contexto Geodinámico*. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 352 pp.

SOMOZA, L.; ZAZO, C.; BARDAJI, T.; GOY, J. L., y DABRIO, C. J. (1987): *Recent Quaternary Sea Level Changes and Tectonic Movements in SE Spanish Coast*. En: *Late Quaternary Sea Level Changes in Spain*. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, vol. 10. ZAZO, C. (Ed.), CSIC. Madrid, pp. 49-77.

THOM, B. G.; ROY, P. S. (1988): *Sea-Level Rise and Climate: Lessons from the Holocene*. En: *Greenhouse: Planning for Climate Change*. PEARMAN, G. I. (Ed.). CSIRO. Melbourne, Australia, pp. 177-188.

TITUS, J. G. (1987): *The Greenhouse Effect, Rising Sea Level and Society's Response*. En: *Sea Surface Studies. A Global View*. DEVOY, R. J. N. (Ed.). Croom Helm and Methuen Inc., N. Y., pp. 499-528.

ZAZO, C.; DABRIO, C. J., y GOY, J. L. (1988): *Geomorfología Litoral y Significación de las Variaciones del Nivel del Mar*. Monografía SEG, núm. 2, pp. 171-188.

ZAZO, C.; GOY, J. L.; SOMOZA, L.; BARDAJI, T., y DABRIO, C. J. (1987): *Recent Quaternary Marine Levels in Peninsular Spain, State of Knowledge and discussion*. En: *Late Quaternary Sea Level Changes in Spain*. Trabajos sobre Neógeno-Cuaternario, vol. 10. ZAZO, C. (Ed.), CSIC. Madrid, pp. 7-31.

Original recibido: Septiembre de 1991.

Original aceptado: Octubre de 1991.

INFORMACION

Contribución del BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO al V Centenario

La minería en las relaciones e informes de los virreyes y gobernantes de Nueva Granada (1729-1818).

Por M. LUCENA GIRALDO (*) y M. DEL MAR FLORES (**)

1. INTRODUCCION

En 1782 el sabio José Celestino Mutis atribuía el «imponderable atraso» del Virreinato de Nueva Granada al abandono de sus preciosas minas y sus riquezas naturales, así como a la mala planificación de su estructura de producción (1). Siempre a medio camino entre su irrenunciable vocación de botánico y su temporal dedicación a la minería, lo cierto es que el diagnóstico de Mutis sobre la falta de integración económica entre las diferentes regiones de la Nueva Granada estaba plenamente justificado. Esta estaba constituida, en la segunda mitad del siglo XVIII, más que por un bloque unitario, por un conjunto de variedades regionales, raciales y de sistemas de trabajo (2).

Sus dieciocho provincias, alcaldías y corregimientos fueron agrupadas en el censo de 1778 en ocho regiones económicas: Santa Fé-Tunja, Cartagena-Santa Marta-Río Hacha, Popayán, Mariquita-Neiva-Guaduas, Antioquia, Chocó-Barbacoas-Tumaco-Darién, Llanos y Girón-Salazar-Vetas. Sin embargo, era posible agruparlas en cuatro macrorregiones: Costa Atlántica, Popayán, Oriente y Centro andinos.

La Costa Atlántica, cuya unidad de producción era la clásica hacienda, tenía explotaciones ganaderas o mixtas, que daban caña de azúcar para aguardiente, maíz, yuca, plátano «y otros productos alimenticios destinados al consumo de su propia población y al mercado de Cartagena, donde estaba también el mercado del ganado y de productos pecuarios como el sebo y el cuero» (3).

La zona oriental costera era ganadera, aunque también había algodón y palo de tinte. Hacia el sureste, los Llanos eran sobre todo lugar de explotación pecuaria. La provincia de Popayán era un espacio minero, en el cual el valle del Cauca abastecía los consumos urbanos y también «sus propias minas de Almaguer, Caloto y Barbacoas y [...] ...los distritos mineros del Chocó y Marmato» (4).

(*) Centro de Estudios Históricos. CSIC.

(**) Historiadora.

(1) «Estado de la minería en Nueva Granada» (1782), Memoria preparada por Mutis para la firma del Arzobispo-Virrey, Hernández de Alba, G. Ed. (1983), *Escritos científicos de Don José Celestino Mutis*, Bogotá, Instituto Colombiano de Cultura Hispánica, p. 165 et passim. Sobre los aspectos científicos de la minería, ver LOPEZ DE AZCONA, J. M. (1983), *Los hermanos Elhuyar, descubridores del Wolframio, 1782-1783*, Madrid, Fund. Gómez Pardo, y PELAYO, F. (1990), «Las actividades mineras de J. C. Mutis y Juan José Elhuyar en Nueva Granada», *Revista de Indias*, Vol. L, núm. 189, 455 et passim.

(2) TOVAR, H., «El estado colonial frente al poder local y regional», en *Nova Americana*, núm. 5, Turín, S/F, Ed. Giulio Einaudi, p. 41 et passim.

(3) JARAMILLO, J. (1987): «La economía del Virreinato (1740-1810)», en Ocampo, J., Ed., *Historia Económica de Colombia*, Bogotá, Ed. S. XXI, p. 59.

(4) JARAMILLO, J. (1987), p. 59.

Los Andes orientales tenían una mayor especialización económica, enviando harina, patata y ganado a mercados cercanos y a la costa, mientras Vélez y El Socorro producían caña de azúcar y algodón y la frontera con Venezuela enviaba su cacao a México a través del cercano puerto de Maracaibo. Las provincias centrales tenían ganado que se enviaba para el consumo de los mineros y cacao y azúcares para aguardientes que se comerciaban en Honda. Antioquia limitaba su agricultura al abastecimiento de ciudades y cuencas mineras, formándose una sociedad de pequeños granjeros impulsada por el desarrollo de las minas (5).

Pero ¿cómo se relacionaban entre sí y con el exterior las regiones del Virreinato? En primer lugar, es importante anotar el papel fundamental de la minería dentro de la producción y el comercio virreinales. Por lo menos hasta 1780 el oro representó casi el 100 por 100 de las exportaciones y sólo a fines del período colonial apareció un tímido 10 por 100 de productos agropecuarios, como algodón, cacao, palo de tinte, quina y cueros, de la mano de los impulsos de diversificación que fomentaba el reformismo borbónico (6). En cuanto a las importaciones, textiles y manufac-

turas, entraban legal o ilegalmente por los puertos de la costa y la Guajira. Los grandes núcleos importadores eran Cartagena, Santa Marta, Santafé, Popayán, Rionegro, Medellín, Marinilla y El Socorro (7). El intercambio de los productos se realizaba a través de una red fluvial y terrestre cuya arteria básica era el río Magdalena (8). En cuanto a los caminos, desde Venezuela venía el principal por Cúcuta, Tunja y Santafé, continuando luego hacia Popayán. Allí se juntaba con el camino del Perú y Quito, que por el valle intramontano penetraba hacia el Chocó y Antioquia. Pasos y caminos transversales completaban la red, caso de la ruta de Santafé al Magdalena, el camino del Carara que salía de los Andes Centrales y el del Nare, que comunicaba Antioquia y el río Magdalena.

La deficiencia de los caminos —a la que no era ajena una orografía increíblemente difícil— encarecía mucho los costos del transporte. El aislamiento, la estructura fiscal e institucional y la falta de liquidez y numerario acababan por definirnos una economía con grandes problemas estructurales, a la que, como había señalado Mutis, sólo grandes innovaciones políticas y científicas podían dar verdaderas soluciones.

2. UN CUERPO DOCUMENTAL BASICO: LOS INFORMES Y RELACIONES DE MANDO DE LOS VIRREYES

Aunque los informes y las «Relaciones de Mando» de los virreyes constituyen una fuente tradicional de la historiografía neogranadina, en las últimas décadas se ha hecho demasiado énfasis en el carácter oficial, político y cronológico de la información que aportan, desconociéndose su validez para una reconstrucción histórica no tradicional. Y, sin embargo, los informes y «Relaciones de Mando» siguen constituyendo una fuente de primera categoría, ya que aportan una visión general de los mecanismos sociales y económicos de la vida colonial en el siglo XVIII (9). Esa generalidad nos permite muchas veces tener una idea global del sistema desde el propio centro del poder. Un lugar en el que, no por casualidad, destacaba la pre-ocupación por la vida económica y, en concreto, por la minería. A través de las «Relaciones» trataremos de explorar la voluntad política de sacar el máximo provecho de las riquezas naturales del medio geográfico y demostrar el buen hacer de los virreyes. Sin embargo, es preciso

señalar que, pese a que la autoridad de éstos se concibió para ser más efectiva que la de los presidentes de Audiencia, su radio de acción resultaba frecuentemente reducido. La idea de que el Estado se hallaba presente en todas las actividades de los habitantes del Virreinato y ahogaba toda iniciativa es errónea. Por un lado, la debilidad misma de las instituciones y la dificultad de aplicar disposiciones generales obligaba a la permanente emisión de preceptos específicos. Por otro, la falta de iniciativas públicas no dejaba un margen muy amplio para las innovaciones por parte de los gobernantes, quedando aquéllas de esta manera en manos de los particulares.

El Virreinato de Nueva Granada fue establecido en dos ocasiones distintas en el curso del siglo XVIII. La primera instauración (1719-1723) se debió a la necesidad de crear una autoridad fuerte, pues el régimen de los presidentes de la Audiencia había dado lugar al escándalo de una deposición violenta del presidente Meneses Bravo de Saravia. En la segunda y definitiva creación (1739-1820) la necesidad de reforzar la autoridad colonial ante las inminentes hostilidades con Inglaterra fue el móvil principal. El organizador del virreinato en 1718, Pedroza y Guerrero, se ocupó ante todo de medidas administrativas y la elaboración de numerosos expedientes para reprimir el comercio ilegal. Contrabando o guerra declarada, ambos factores significaban el progresivo debilitamiento del núcleo central del imperio, el mar Caribe. Hubo así una grada-

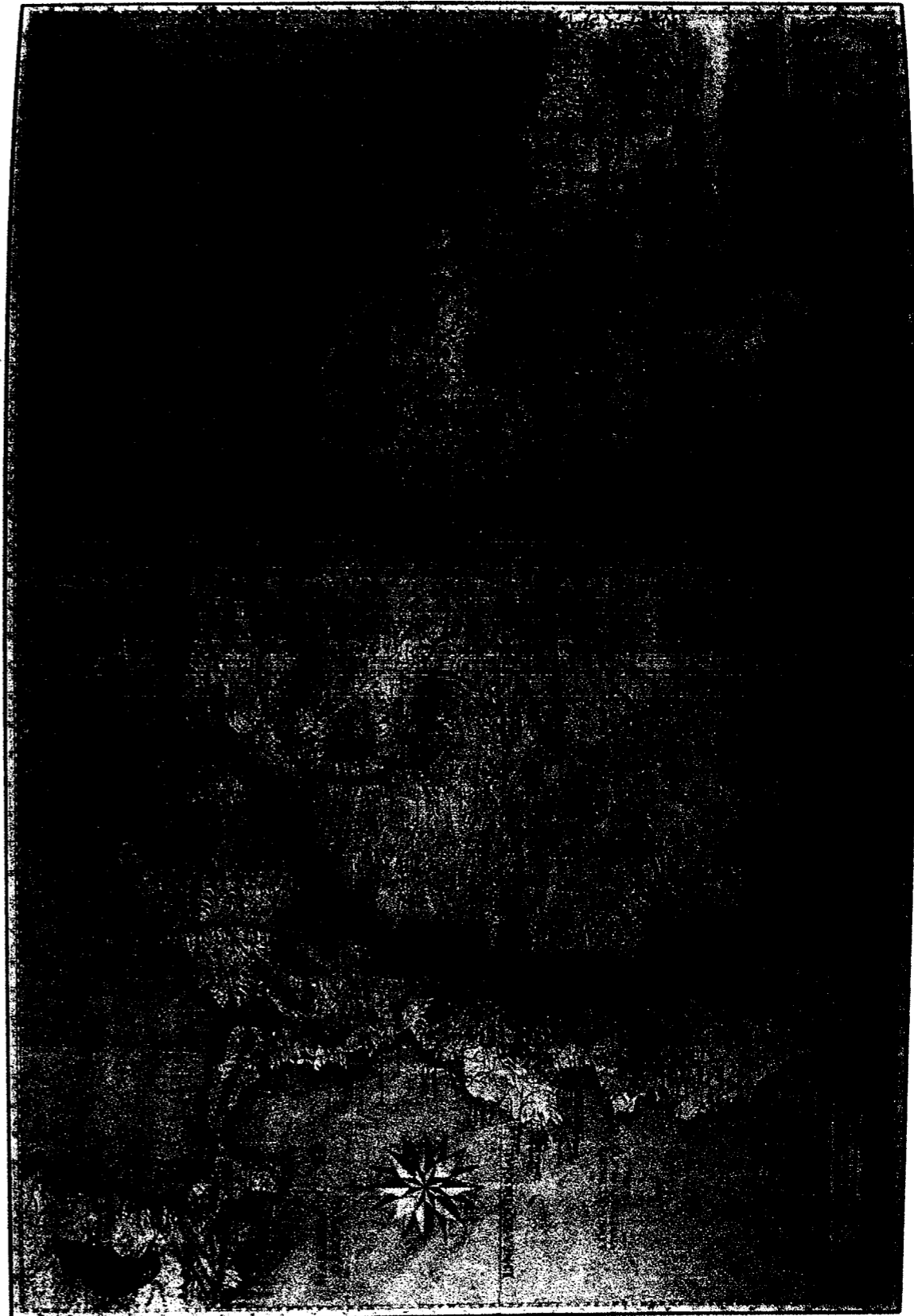
(5) TOVAR, H., S/F., p. 43.

(6) JARAMILLO, J. (1987), p. 49.

(7) JARAMILLO, J. (1987), p. 72.

(8) IBOT, A. (1951), *La Arteria Histórica del Nuevo Reino de Granada*, Bogotá, Ed. ABC, sobre la navegación del río Magdalena y el Canal del Dique.

(9) Colmenares, G., Ed. (1989), *Relaciones e informes de los gobernantes de la Nueva Granada*, Bogotá, Banco Popular, T. I, Prólogo, p. 5 et passim.



MAPA DE AMERICA DEL SUR, POR FRANCISCO MORENO Y ESCANDON, FISCAL DE LA REAL AUDIENCIA DE SANTA FE, BOGOTA (1772)



MAPA DE AMERICA DEL SUR, POR FRANCISCO MORENO Y ESCANDON, FISCAL DE LA REAL AUDIENCIA DE SANTA FE, BOGOTA (1772)

ción en la urgencia para la instalación del Virreinato de la Nueva Granada, pues la segunda vez la guerra con Inglaterra no dejaba lugar a dudas sobre la necesidad de concentrar recursos en Cartagena y otras plazas del Caribe (10).

En cualquier caso, obviando este cambio administrativo en lo posible, hemos intentado reconstruir sin interrupciones el cuadro documental sobre la minería formado por los informes de gobernantes y las «Relaciones de mando» virreinales. El primer documento que hemos incluido en nuestra recopilación es el Informe sobre el estado y necesidades de la Nueva Granada, preparado por el presidente de la Audiencia Antonio Manso en 1729. A continuación hemos incluido la Defensa del gobierno del virrey Sebastián de Eslava (1739-1749), preparada por el oidor Antonio Verástegui en 1751, e informes y Relaciones de Mando de los distintos virreyes: José Solís (1753-1761),

Pedro Messía de la Cerda (1761-1772), el Estado del Virreinato preparado por el fiscal Francisco Moreno y Escandón (1772), la Instrucción (1776) dejada por el virrey Manuel de Guirior (1772-1776) a su sucesor Manuel Antonio Flores (1776-1782), las Relaciones de Mando de Antonio Caballero y Góngora (1782-1789) y Francisco Gil y Lemos (1789), los Apuntes Reservados de Francisco Silvestre (1789), las Relaciones de Mando de José de Ezpeleta (1789-1796) y Pedro Mendinueta (1796-1803) y, para acabar, ya en las postrimerías del periodo español, la Instrucción de Francisco de Montalvo a su sucesor, Juan de Sámano (1818) (11). Debemos señalar que hemos procedido a una modernización de la ortografía y la sintaxis de los textos transcritos, a fin de que su lectura y comprensión resultara más fácil.

Agradecemos al Académico Dr. López de Azcona las valiosas orientaciones para la realización de este trabajo.

(10) Colmenares, G., Ed. (1989), p. 13.

(11) La primera edición con vocación de conjunto de las *Relaciones de Mando* es la de F. Posada y P. M. Ibáñez (1910), Bogotá, Imp. Nacional, y la más reciente, corregida y completa, es la ya citada de Colmenares, G., Ed. (1989). Nos hemos basado siempre que ha sido posible en la documentación original manuscrita; si la referencia fuera bibliográfica, lo indicaremos oportunamente.

Sobre el documento núm. 1, el *Informe sobre el estado y necesidades de la Nueva Granada*, preparado por el presidente de la Audiencia, Antonio Manso, en 1729, ver Colmenares, G., Ed. (1989), T. I, pp. 27-41. Sobre el núm. 2, la *Defensa del gobierno del Virrey Sebastián de Eslava (1739-1749)*, preparada por el oidor Antonio Verástegui en 1751, ver Colmenares, G., Ed. (1989), T. I, pp. 41-79; el núm. 3, la *Relación de Mando*, de José Solís (1753-1761), en ARCHIVO HISTORICO NACIONAL DE COLOMBIA (en adelante AHNC), *Virreyes*, T. 20; el núm. 4, la *Relación de Mando*, de Pedro Messía de la Cerda (1761-1772), en AHNC, *Virreyes*, T. 20 y BIBLIOTECA NACIONAL DE COLOMBIA (en adelante BNC), *Raros y curiosos*, T. 289; el

núm. 5, *Estado del Virreinato*, preparado por el fiscal Francisco Moreno y Escandón (1772), en BNC, *Raros y curiosos*, T. 289; el núm. 6, la *Instrucción* (1776), dejada por el virrey Manuel de Guirior (1772-1776) a su sucesor, Manuel Antonio Flores (1776-82), en Colmenares, G., Ed. (1989), T. I, pp. 271-355; el núm. 7, la *Relación de Mando* de Antonio Caballero y Góngora (1782-1789), en REAL ACADEMIA DE LA HISTORIA (en adelante RAH), *Colección Mutis*, 9/4103; el núm. 8, la *Relación de Mando* de Francisco Gil y Lemos (1789), en Sánchez Pedrote, E. (1951), «Gil y Lemos y su Memoria sobre el Nuevo Reino de Granada», *Anuario de Estudios Americanos*, T. VIII, Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos, p. 185 et passim; el núm. 9, los *Apuntes Reservados* de Francisco Silvestre (1789), en Colmenares, G., Ed. (1989), T. II, pp. 35-151; el núm. 10, la *Relación de Mando* de José de Ezpeleta (1789-1796), en RAH, *Colección Mutis*, 9/4102, y BNC, *Raros y curiosos*, T. 174; el núm. 11, la *Relación de Mando* de Pedro Mendinueta (1796-1803), en Colmenares, G., Ed. (1989), T. III, pp. 5-180; y, finalmente, el núm. 12, la *Instrucción* de Francisco de Montalvo a su sucesor, Juan de Sámano (1818), en BNC, *Raros y curiosos*, T. 161.

APENDICE

Virreyes y gobernantes de Nueva Granada

Jorge de Villalonga, virrey, 1719-1723.
Antonio Manso Maldonado, presidente, 1724-1731.
Sebastián de Eslava, virrey, 1739-1749.
José Alfonso Pizarro, virrey, 1749-1753.
José Solís y Folch de Cardona, virrey, 1753-1760.
Pedro Messía de la Cerda, virrey, 1760-1772.
Manuel Guirior, virrey, 1772-1775.
Manuel Antonio Flórez, virrey, 1776-1781.

Antonio Caballero y Góngora, virrey, 1781-1789.
Francisco Gil y Lemos, virrey, 1789.
José de Ezpeleta, virrey, 1790-1796.
Pedro Mendinueta, virrey, 1796-1803.
Antonio Amar y Borbón, virrey, 1803-1810.
Francisco de Montalvo, virrey, 1816-1818.
Juan de Sámano, virrey, 1818-1819.

1. INFORME RENDIDO POR EL MARISCAL DE CAMPO ANTONIO MANSO, COMO PRESIDENTE DE LA AUDIENCIA DEL NUEVO REINO DE GRANADA, SOBRE SU ESTADO Y NECESIDADES, EN EL AÑO DE 1729

Señor: De orden de S. M. pasé a gobernar este Nuevo Reino de Granada y servir la Presidencia de Su Audiencia, que reside en la ciudad capital, que es la de Santa Fé, de cuyos empleos tomé posesión el día 27 de mayo del año de [1712]. Este es un reino, señor, que en la circunferencia de 50.000 leguas tiene V. M. todo cuanto hay precioso y rico en los más opulentos del oriente, con tanta abundancia que sólo a la experiencia se puede confiar la verdad. La plata y oro que en cualquier clima se ha granjeado el primer lugar, es en este suelo tan abundante que se puede creer haberla mejorado en tercio y quinto la naturaleza; pues no hablando del Chocó, que comprende siete u ocho provincias, de donde se saca no por arrobos sino a cargas, le hay a los alrededores de la ciudad, por la banda del Sur, en cualquier parte que se busca, pues le hay en la ciudad de Neiva y sus contornos, en los de la de Ibagué, en Mariquita, en la jurisdicción de Coyaima y Natagaima, cuyos indios pagan en oro sus tributos, sin más afán que el de ir por él cuando es llegado el caso del entero. Y en otras partes muchas, donde cada día se encuentran ricas minas, como ha poco sucedió en unas que ante mí se registraron en un país que llaman Llano-grande, por la banda del norte. Le hay declaradamente en las vetas de Pamplona, en la provincia de San Juan de Girón, que llaman por antonomasia Río del Oro, y si he de decir verdad sería prolijidad el expresarse todas las partes donde se ha descubierto haberle, y puedo asegurar que le hay, según estoy informado, en los arrabales del lugar, cuya fama asegura el colorido y señas del territorio.

A mayor distancia ya se sabe que le hay en abundancia en toda la provincia de Antioquía, donde hay un cerro que se denomina Buriticá, que ha hecho realidad lo que pasó por ente de razón, porque es un monte de oro, aunque no le logran sus vecinos porque casi está intacto.

Mucho es tanto oro, pero es más los subidos quilates que alguno tiene, porque el que se dice de Cañaverales, que se saca de San Juan de Girón, tiene de ley —según me dice el Ensayador de Casa de Moneda— veintitrés quilates y un grano; el de Quinamayo, veintidós y dos granos; el que se saca de un paraje que está entre el Chocó y Antioquía, y se denomina Amurrí, tiene de ley veintidós quilates y tres granos, y en Mariquita hay minas que le dan de veintidós quilates y medio. La plata ya es notorio que se saca de las minas de Mariquita en calidad tan excelente que excede en cuanto se ha descubierto. Piedras preciosas ya consta a V. M. que las tiene en las provincias de los Muzos, en tanta abundancia de esmeraldas que han hecho olvidar las del Oriente; y en un sitio que llaman Somondoco hay unas minas que no han exci-

tado la curiosidad y sólo se inicia su riqueza por algunas pocas que se encuentran en la superficie de la tierra. Las amatistas con igual franqueza de la tierra las hay en el distrito de la ciudad de La Plata, tan ricas que hay alguna en esta ciudad destinada al adorno de una custodia apreciada en más de mil pesos. Sácalas quien las ha menester, sin más trabajo ni contradicción que enviar dos indios por ellas, que sin discreción de bueno o malo cargan cuantas les parece equivale al sueldo concertado. Minas de cobre las hay en Ibagué y en la provincia de Vélez, tan copiosas que pudieran suministrar metal para artillar toda la Monarquía. Plomo y estaño hay también [...], azufre y muchas cosas que sirven al uso de la vida y medicina.

Es cierto, señor, que hay mucho más oro que el que dejo insinuado; pero sábase sólo que le hay por lo patente que está y algunos pocos tomimes que se rescatan, no porque alguien le trabaje en las minas; y aunque parece contradicción haber dicho que del Chocó se saca a cargas y que la gente es pobrísima, no hay ninguna porque el oro que se saca del Chocó es parte de los dueños de minas, que todos son vecinos de Popayán, los cuales le envían a labrar a la Casa de Moneda; es de los forasteros que lo van a buscar y traen al lugar también a labrar, aunque es otro tanto el que se extravía. Estas porciones reducidas a doblones vuelven a salir sin dejar más utilidad al lugar que la que queda al tesorero de la Casa de Moneda que le labra, con que agotadas las minas sólo sienten los extraños la utilidad. Esto proviene, según he comprendido, del descuido de los gobernadores, que han dejado emperezar la gente tanto que por esto como por ser abundantes aunque groseros los mantenimientos de que usan, no hay quien quiera trabajar, y así están los oficios mecánicos sin artífices ni oficiales [...]. Para esto discurrí yo algunas veces fuera bueno hacer unas casas fuertes en las minas, donde fuesen remitidos éstos, a cargo de un alcalde que diariamente los entregase a los mineros, con obligación de reducirlos a su prisión por la noche. Seguiríase de aquí grande suma de utilidad, porque el miedo de haber de ir allí a purgar sus culpas los contuviera en sus delitos y eligieran oficio de las artes mecánicas, y se evitaría el acabamiento de los indios (de que diré después), porque trabajando éstos, que por la mayor parte es gente robusta y capaz de sobrellevar el trabajo, dieran mayor utilidad al minero y no poca al aumento de los quintos, y empeñara a muchos a descubrir y trabajar nuevas minas, con que se lograban a un tiempo muchos fines. Pero como yo no tenía facultad de gastar en tales fábricas de la Real Hacienda, ni de arbitrar otros medios o echar derramas o contribuciones extraordina-

rias para la fábrica, se quedaba mi discurso en una pura especulación.

Dije que se evitaría el acabamiento de los indios, porque es así que corriendo a dirección de los corregidores de los pueblos hacer la conducción de aquellos a quienes según las ordenanzas o estilo se destinan, suelen hacer en esto grandes agravios a los indios, pues si se le contribuye alguna cosa quien ya según la suerte había de ir, le redimen de ello y sacan al que no le tocaba. Hecha la conducción, lo que sucede es que salen los indios de unos temples frigidísimos a las minas de Mariquita, que son calidísimas; trabajan dentro del agua con el peso de una barra, a que no están acostumbrados, con que dentro de poco enferman, si no mueren muchos; a pocos días que experimentan el trabajo se huyen y se aplican a bogar en las canoas del trajín que hay en el río de la Magdalena, o se alejan más distantes, con que es raro que vuelvan a su pueblo. Lo peor es que en seguimiento del marido se suelen ir la mujer e hijos pequeños con él a las minas, y perdido él, ninguno de los que salieron vuelve, y si alguno vuelve es inútil ya para todo, porque o viene azogado o medio tullido y perdida la salud para siempre [...]. Falta quien cultive los campos y quien acarree los mantenimientos, con que dentro de poco faltará todo. Para evitar este horrible inconveniente, que aún es mayor de lo que se puede ponderar, discurría yo fuera buen medio el que así como se envían azogues de cuenta de V. M. a los minerales, que reciben fiados los mineros con obligación de pagarlos en los mismos metales que se benefician con él, se podía enviar una porción de negros que se diesen a los mineros con igual obligación; y siendo los negros gente más trabajadora y fuerte, y como verdaderos esclavos no tienen el riesgo de irse, darían más utilidad en un año cien negros que quinientos indios, aunque hubiera conducción que llegara a ese número, que no la hay, porque la más numerosa jamás ha llegado a trescientos [...]. Seguiríase de esto otra grande utilidad, y es que sacándose en abundancia la plata, se labraría moneda de ella, que es lo que queda en la provincia;

2. DEFENSA DEL GOBIERNO DEL VIRREY SEBASTIAN DE ESLAVA, HECHA POR EL OIDOR APODERADO DE SU RESIDENCIA, ANTONIO DE BERASTEGUI (1751)

Sr. Juez General de Residencia.

El oidor apoderado del Excmo. Sr. D. Sebastián de Eslava para el juicio de su residencia del tiempo que fue virrey de este Nuevo Reino [Antonio de Berástegui], respondiendo a los cargos de que se le ha dado vista, dice que entre las especiales mercedes que debió S.E. a la real designación de S.M. realzó su agradecimiento la de haber merecido a su real memoria la pronta expedición de su residencia, cometiéndola a quien con tantas luces de

porque como los patacones y reales sean de dicho peso, voluminosos de cargar, no los apetecen para sacar fuera ni llevar a emplear, como hacen con los doblones, y así esta moneda de plata es la que se manosea y trajina; pero como es poca la que se saca, la más se lleva fuera del reino en piñas y barras, de suerte que en el lugar apenas se ve esta pasta, porque el tesorero de la Casa de Moneda cada dos o tres años hace una laborcita de doscientos a trescientos marcos, porque los útiles de la labor de la plata son pocos para él, y así no solicitan labrarla, con que anda escasísima la moneda usual; y este es uno de los principios y origen de la pobreza del lugar. Podría ser remedio mandar al tesorero que frecuentase la labor de la moneda de plata, haciendo por lo menos una labor considerable cada año, que él solicitaría la plata y pediría providencia y la arbitraría para que no se extravíase.

Esto es lo que ha alcanzado mi experiencia en el tiempo que he gobernado este Reino, asegurando a V.M. con aquella ingenuidad que debe profesarme mi respeto que insta tanto el remedio a los daños expresados que sólo debiéndose esperar del paternal celo de V.M. su aplicación, puede cesar el desconsuelo que ocasiona ver próxima la total desolación de este reino, el cual necesita de un presidente que ejecutando con exacción providencias que V.M. fuere servido expedir, aplique su cuidado al remedio de otros menores daños que nacen de estos otros, y que yo he omitido porque no se haga impertinente y difuso este informe.

Aunque conozco que los inconvenientes que en su principio se suelen reputar por de poca importancia, en sus fines ocasionan la destrucción de un Reino. Y como el obsequioso amor con que yo deseo se conserven con crecidos aumentos todos los que obedecen a V.M., no permita omitir la insinuación de la ruina que amenaza a éste, he tenido de mi obligación proponer lo que se me ofrece, reservando a su grandeza y elevados talentos de su Consejo los que tendrá por más oportunos y prontos.

Santa Fé, Julio, 20, de 1729.

de ella una breve noticia de lo operado por S. E., para entrar con conocimiento de sus progresos al intensivo de sus descargos, se hará la siguiente recolección de las materias de su gobierno.

A — Real Hacienda

La tercera clase de las incumbencias de un virrey es la conservación y aumento de la Real Hacienda [...]. El otro servicio fue el de haber pulsado con tanto acierto las providencias respectivas al manejo y breve despacho de las labores de la Casa de Moneda de esta ciudad, que con haberse observado posteriormente al descubierto de su inexperto tesorero, se han pagado íntegramente sus acreedores y se han visto mayores remisiones de oro, como se empezaron a reconocer desde que S. E. prohibió el transporte de barras a Cartagena, la extracción del oro en polvo sin quitar ni fundir fuera de las cajas de su provincia y que para la paga de los reales quintos y cobros no dedujesen los mineros los costes de sus herramientas y manutención de negros, sino que de la misma entera porción del oro beneficiado se pagasen a S. M. los reales derechos en reconocimiento de su absoluto y primario dominio; de cuyas providencias y de las dadas al superintendente y tesorero de la Casa de Moneda, que constan del testimonio que se presenta, son muy patentes las satisfacciones de los mineros y comerciantes y las que interesa de la Real Hacienda, cuyos efectos han sido muy consiguientes al sumo celo con que S. E. cautuló las extracciones del oro en las provincias del Chocó, permitiendo a este fin que se estableciese en el puerto de Chirambira y Bocas de Colina, por donde se comercia el río de San Juan, un nuevo puesto de vigía con un cabo y los indios correspondientes del pueblo de Noanama; y que en la otra vigía del río de Atrato se duplicase el cuidado de su servicio, y esta misma prohibición se hizo común a las provincias de Antioquía, Popayán y demás partes por donde se pudiesen extraer los oros [...]. Y habiendo tomado los informes necesarios para inducir el

3. RELACION DEL ESTADO DEL VIRREINATO DE SANTAFE, HECHA POR JOSE DE SOLIS FOLCH DE CARDONA A PEDRO MESSIA DE LA CERDA. AÑO DE 1760

Excmo. Sr. Muy Sr. mío:

Habiendo resuelto para el más exacto cumplimiento de la ley real hacer a V. E. no sólo de palabra, sino también por escrito un informe del estado en que quedan las cosas del gobierno con mi parecer, para que éste se haga más comprensivo y se evite con su más posible brevedad la molestia de V. E., ha parecido disponerlo con la división de materias de Religión, Hacienda, Gobierno y Guerra.

(1) Denominación dada en Nueva Granada a la trona — $\text{Na}_2\text{H}(\text{CO}_3) \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$.

más apetecible alivio a los vasallos de S. M. y la efectiva cobranza de sus reales derechos, redujo a menos aforo y legítima valuación la antigua que pedía esta justa reforma, y juntamente auxilió el trabajo de las minas con los privilegios que pudieran alentar a los mineros a tener cuadrillas de negros para gozar de aquellos, sirviendo estas industrias franquezas del mayor logro a los intereses de la Real Hacienda, mediante las condicionadas preveniciones de su concesión.

Otra circunstancia contribuye al mismo elogio, y es la de que si desde el umbral de este Virreinato en que se mantuvo S. E. supo hacer provechosas sus bien dirigidas providencias aun en el conflicto de guerra, despacho de escuadras y navíos, negocios de comercio y causas criminales y civiles e infinitos expedientes, con el poco auxiliar temperamento de Cartagena, cuántos más hubiera adelantado su comprensión y autoridad si por fortuna hubiera residido en el centro de esta capital. Naturalmente, se puede presumir que las opulentas minas de plata y de oro de la Montuosa Alta y Baja en las vetas de Pamplona, que procuró fomentar, como contestan los autos de las residencias de Pamplona y San Juan Girón, se hubieran restituído a su siglo de oro.

Y las minas de las Lajas de Mariquita, en que premeditó hacer poblaciones para su efectivo trabajo y conducir beneficiadores de sus ricos metales con el nuevo beneficio de la colpa (1) y caparrosa, cuyo principal anticipó a las cajas de Honda y de esta ciudad, también hubieran facilitado los proyectos de S. E., ya que por causa de la distancia no tuvieron más producción que la de sus vivos deseos y la de que su asesor por verlos practicados en servicio de S. M. haya contribuido de su salario la cantidad de cuatro mil pesos para ayuda de lo que costeara la Real Hacienda en dichas minas.

D. Antonio Berástegui, oidor de esta Real Audiencia, como apoderado del Excelentísimo Sr. D. Sebastián de Eslava, virrey que fue de este Reino. En Santafé, en primero de octubre de 1751.

A — Gobierno

Aquí parece se debía tratar de las minas, habiéndose en todo favorecido y auxiliado las de oro, y facilitando la introducción de negros tan útil a todos y a la agricultura. En las célebres de plata de Mariquita, aunque se ha ponderado su valor no se ha adelantado cosa al modo con que, con mucho desprecio, cogen poco o nada; porque no habiendo, como no hay, inteligentes ni caudales, que es lo que requieren las de este metal, toda diligencia es frustrada.

No ha mucho que se concedió a uno registro de las de plata de la Montuosa en las vetas de Pamplona; y por lo dicho es de temer suceda lo que siempre se ha observado, que no se consiga adelantamiento alguno.

Además de los que van expresados, hay otros muchos que fuera muy largo exponerlos, y se han omitido por no ser de tanta consideración: de ellos y su estado, como del en que quedan algunas pocas cédulas de que no se ha hecho mención, y aún penden diligencias para su cumplimiento, constará del registro y su conocimiento de los papeles de la secretaria de cámara, cuya entrega por inventario se hará por mi secretario al de V. E. y de los

4. RELACION DEL ESTADO DEL VIRREINATO DE SANTAFE, QUE HACE PEDRO MESSIA DE LA ZERDA A SU SUCESOR, MANUEL GUIRIOR. AÑO DE 1772.

Excmo. Sr.:

Muy Sr. Mío: No obstante de que verbalmente pienso referir a V. E. el actual estado de este Virreinato y concepto formado en el espacio de casi doce años que ha estado a mi cargo, paso, en cumplimiento de la ley de Indias que lo ordena, a significar a V. E. el que tiene el gobierno, y cómo queda, siguiendo la división en cuatro clases de Religión, Hacienda, Gobierno y Guerra, limitándome a lo más substancial y preciso.

A — Hacienda

Para subvenir a los gastos en muchas ocasiones de urgencia se ha ocurrido a la Casa Real de Moneda, socorriendo con sus emolumentos lo concerniente al servicio; pero habiéndose abierto la Casa de Popayán por un particular, faltó este auxilio, por ser muy escasa la entrada de oros a la amonedación, y por consiguiente los productos, mayormente estando grabada con excesivos sueldos de los empleados, que son en bastante número. Posteriormente, incorporada al real patrimonio la Casa de Popayán, he determinado no proveer todos los empleos de la asignación, con el fin de economizar los gastos, como se ha verificado, y también con el de esperar la real determinación; sobre lo que le tengo informado que es suficiente una sola en esta capital para amonedar todo el oro que se extrae de las minas del reino, y se lograría con una sola paga de operarios que fuesen mayores las utilidades reducidas a esta Casa, bien que entretanto se irá continuando la labor como hasta lo presente.

B — Gobierno y Administración de Justicia

Al mismo tiempo que son extensas las facultades del gobierno y muy vastas las provincias en que deben ejercerse, son también no pocos los émulos que le circun-

autos y procesos que están en buen orden en la escribanía de gobierno, y las reales cédulas y órdenes que se han recibido después del arribo de V. E. a Cartagena se han reservado para que V. E. las despache como es debido, y así se entregan por separado con ésta.

Yo deseo a V. E. toda felicidad en su Gobierno y que correspondan a su celo y acierto los efectos; a pesar de la falta de medios y sujetos que hay aquí para la práctica, y que así vea mejorados mis buenos intentos.

Santafé, 25 de noviembre de 1760.

José de Solís Folch de Cardona.

dan, que conviene resistir a beneficio del común. Y en consecución de las regalías de la dignidad, como que su objeto se dirige a todo lo que concierne al beneficio público del reino, merece primer lugar en este trabajo la labor de las minas, particularmente de oro, por ser éstas las que sostienen y nutren el cuerpo político del Virreinato de Santafé, que careciendo de frutos comerciables, no porque dejen de abundar muy estimables, sino por falta de extracción y comercio, se reduce toda su substancia al oro que sale de sus minas anualmente, y se reduce a las casas de moneda; de modo que si cesasen por pocos años los mineros en su ejercicio, faltarían rentas y comercio, arruinándose del todo esta máquina.

Por esta fundamental razón conviene, a mi ver, que no sólo se dé todo auxilio a los mineros como vasallos tan útiles al Estado, sino que se estimulen otros al mismo ejercicio y se les faciliten los medios que sean posibles para hacerles menos molesto tan importante trabajo; para lo que convendrá la compostura de caminos y veredas para transporte de utensilios y alimentos; la abundante provisión de negros para el trabajo a precios equitativos, y en general el fomento del comercio. En las provincias del Chocó, tan célebres por sus minas, se padece una lamentable escasez de víveres y de todo lo necesario para la labor, comprando los mineros a subidos precios el alimento, hierro, acero, esclavos y demás. Y para reparar de algún modo su indigencia, seguido expediente judicial, concedí que cada año pudiesen navegar de Guayaquil dos barcos para su provisión. No obstante, modernamente se me ha informado que no se ha conseguido el fin, porque concedida al gobernador la facultad de dar licencias se introdujo la avaricia y el interés en la elección, haciéndose tan costosa la gracia, que a veces no van los barcos y sufre el Chocó los efectos de la carestía, de que podrá instruirse V. E. y resolver con su penetración lo más

acertado, en la inteligencia de que la aspereza del camino y montaña del tránsito de Ibagué a Cartago me obligó a tratar de abrir un camino menos costoso y molesto, lográndose haber aliviado en mucha parte las penalidades de los tratantes.

No es menos la necesidad de auxilio que necesita la provincia de Antioquía, fértil en minas de oro, y no tan estéril como el Chocó de mantenimiento, sin embargo de la aspereza del monte de Nare y del de Herbé, por donde se transita hasta Honda. Pero la pobreza de los habitantes y su general desidia embarazan el logro de tan provechosas ideas, como igualmente acontece en el fomento de las minas de plata, que a cada paso descubre pródiga la naturaleza, y a que me dediqué procurando el trabajo de las nombradas de la Montuosa en la jurisdicción de Pamplona, pero con desgraciado suceso; sin que en las de Mariquita se haya conseguido mejor por los particulares que lo han emprendido, dudándose del que tendrá la nuevamente descubierta en el cerro del Sapo en el Corregimiento de Mariquita.

Las minas de esmeraldas de Muzo en obediencia de lo mandado por S.M. se trabajan de su cuenta, manteniendo allí operarios y un sujeto asalariado para que gire

5. **ESTADO DEL VIRREINATO DE SANTAFE, NUEVO REINO DE GRANADA, Y RELACION DE SU GOBIERNO Y MANDO DE PEDRO MESSIA DE LA CERDA, MARQUES DE LA VEGA DE ARMIJO, CABALLERO GRAN CRUZ DE JUSTICIA, DEL ORDEN DE SAN JUAN, GENTILHOMBRE DE CAMARA DE SU MAJESTAD CON LLAVE DE ENTRADA, DECANO DE SU CONSEJO EN EL REAL Y SUPREMO DE GUERRA, TENIENTE GENERAL DE LA REAL ARMADA; VIRREY, GOBERNADOR Y CAPITAN GENERAL DEL MISMO NUEVO REINO, Y PRESIDENTE DE SU AUDIENCIA Y CANCELLERIA REAL, &**

Por Francisco Antonio Moreno y Escandón, Fiscal Protector de Indios en dicha Real Audiencia, Juez y Conservador de Rentas reales. Año de 1772.

Excelentísimo señor:

Se ha dignado V. E. [El virrey saliente Frey D. Pedro Messia de la Cerda], mandarme que forme una Relación del actual estado de este vasto Virreinato, comprensiva de lo militar, político, civil y económico; y vacilando la pluma no tanto por lo arduo de la empresa, superior a mi limitado discernimiento, cuanto por la escasez de noticias sustanciales que se padece en un reino donde hasta ahora ninguno de los señores virreyes ha dejado a su sucesor la exacta relación que manda la ley, para el acierto del Gobierno, zozobra el discurso fastidiado al referir lo inculco y en mucha parte defectuoso de este cuerpo. Pero sobrepujando en mí la complacencia de obedecer a V. E. me anima a tomar gustoso la pluma no sé qué oculta esperanza de que repitiendo los males de que adolecen y remedios que son fáciles de aplicar, llegaría tal vez el deseado instante en que dedicándose nuestro gobierno a su fomento, logre las ventajas que ofrecen los apreciables

la cuenta y esté a la mira, mediante a que no puede saberse lo que se extrae, ni hay regla fija que asegure la extradición de dichas esmeraldas, que repentinamente suelen encontrarse donde no se espera, y por el contrario no hallarse donde se presumía un tesoro.

Concluyo deseando a V. E. todas las prosperidades y aciertos que promete su celo, anhelando que correspondan a él los efectos de sus acertadas providencias y que con ellas logre mejorar mis intenciones y reducir las a la práctica, con las más que la acertada prudencia de V. E. meditará en beneficio común de este reino y en servicio de S. M., para el que contribuirá sobremanera la presencia de V. E. en esta ciudad como capital del reino, tanto para la expedición de los asuntos referidos y particularmente de los concernientes a temporalidades, cuanto para el cumplimiento de otros de mayor arduidad, que por demasadamente secretos omito comunicar en ésta y resuelvo ejecutarlo verbal y personalmente, entregándole los papeles y órdenes de la Corte cuando tenga el gusto de ver a V. E.

Dios guarde a V. E. muchos años.

Santafé, 14 de septiembre de 1772.

El Baylío Frey Don Pedro Messia de la Zerda.

tesoros que oculta en frutos, minas, maderas y proporciones para el más florido comercio, por ser sin duda más opulento y rico este Virreinato que los de Lima y México, que en la actualidad florecen con abundancia incomparablemente mayor, nacida del esmero e industria que aún no ha llegado a pulir lo tosco de esta empresa por haber carecido este reino de los favorables principios de los otros, que erigidos desde su origen en virreinos, se adelantó su sociedad, gobierno y comercio, sin sufrir la variedad que ha experimentado esta mejor aunque desgraciada parte de la monarquía.

No sin estudio colocó la naturaleza al Nuevo Reino de Granada en el centro o corazón de las Américas septentrional y meridional, pues depositó en él los más abundantes, pero también ocultos tesoros de su opulencia, como sucede en el del cuerpo humano [...].

[Noticias sobre Minería]

A — **No deben despreciarse las noticias de [la Relación] del inglés [Alejandro] Velasco**

[...]. El referido inglés Velasco ofrece manifestar los medios para cortar en tiempo y desvanecer las ideas [expansionistas] de los ingleses [...] nada se pierde en la averiguación, y se aventura mucho en la inacción y falta de diligencia, que será más fácil teniendo en nuestro poder al inglés Velasco, que se mantiene detenido en Cartagena, y asegura con repetidas protestas afianzar la realidad de sus declaraciones. En mi concepto se hace más precisa, y aun del todo necesaria, esta providencia, porque prescindiendo de la noticia de este inglés, es verdad del todo constante que por la parte de Calidonia y golfo del Darién se padece un total descubierto, y tienen los extranjeros la puerta franca para su comercio, sino también para establecerse en él, y aún para invadir las provincias del Chocó cuya conservación demanda y merece las primeras atenciones del Gobierno y de nuestra Corona, por ser éstas y las de Antioquía, su confinante, las que en sus minas producen el oro, único fruto de que depende la conservación de todo este Virreinato, y cuyo fomento es la raíz principal y casi única para que florezca.

B — **El comercio del Chocó se limitó a dos caminos**

Por los años de 1730 [...] para poner freno al comercio ilícito de ropas y extracción de oros [el oidor decano de la Real Audiencia José Martínez Malo] únicamente dejó libertad para introducir frutos y efectos por San Juan de Chanú y provincia llamada de Tacamá que pasan al Citará y para Nóvita el camino de Cartago al pueblo de Las Juntas [...]. Con la falta de libertad del comercio de frutos y efectos, casi siempre se vive con escasez en las provincias del Chocó: todo cuesta a los mineros sobre caro, y consiguientemente no es fácil que logren adelantamiento las minas sino notorio atraso, como enseña la experiencia, pues apenas hay minero alguno que no viva empeñado de deudas, trampeando para conservarse y mantenerse, y de aquí nace que este reino nunca podrá florecer si no se pone remedio al desorden.

C — **La subsistencia del Reino depende de la labor de las minas**

No tiene duda que la subsistencia del Virreinato depende de las minas de oro y su fomento, porque no se comercian frutos algunos, ni tienen por dónde adquirir por trato y compensación los géneros que de fuera precisan. Y así el oro que producen sus minas es el único que sostiene las rentas reales, el comercio y los mineros. De un corto número de hombres dedicados por particular providencia a este laborioso e importante ejercicio, está pendiente todo el Virreinato: si éstos cesasen y abandonasen su ocupación, vendría a tierra la máquina del Virreinato, y

así parece que la atención del Gobierno debe dirigirse con particular estudio a sostener estos útiles y preciosos vasallos, a facilitarles los alimentos, instrumentos y demás conducente y necesario para que sea menos costoso y molesto el trabajo, y con la abundancia consigan mayores ventajas, saquen el oro más abundante y se estimulen a nuevos descubrimientos.

D — **Número de indios y de esclavos en las provincias del Chocó**

Según la Visita y numeración practicada por los gobernadores don Francisco Martínez y don Nicolás Pera, existen en las dos provincias del Zitará y Nóvita 4.742 indios y 4.231 negros esclavos, destinados al trabajo de las minas por sus dueños. Su valor en ellas es de 400 a 500 patacones, siendo de barra, sea varón o hembra. El hierro y el acero, como indispensables para las herramientas, suelen costar a 50 y 60 pesos el quintal del primero, y 120 hasta 50 del segundo.

E — **Lo costoso de herramientas y alimentos**

Las carnes, aves, menestras y comestibles, como que no se cultivan y crían en el Chocó para su abasto, entran de fuera a excesivos precios, pues la conducción a hombros de cargueros es muy costosa, y los caminos que se transitan de los más ásperos y fragosos de todo el reino. Por esta regla, lo que había de ganar el minero lo consume en gastos, y nunca le queda caudal para adelantar la labor, para aumentar la saca de oros, para engrosar las cuadrillas, acopiar instrumentos, ni le quedan fuerzas para nuevos descubrimientos, pues le faltan para sostener los adquiridos.

F — **Cautelas para que no se extravíen los oros sin purgar los derechos reales**

A cuyo inconveniente podrá satisfacerse si, aunque se permita por aquella vereda el comercio de lo necesario y conducente, se toman las medidas y precauciones proporcionadas a impedir el extravío, que entre otras podrá reducirse a que los oros se quiten luego que por los mineros se hacen las manifestaciones, según las preveniciones hechas por el Excelentísimo Señor don Jorge de Villalonga en decreto de 25 de enero de 1720: que ningún comerciante tenga libertad de sacarlo, bajo la pena de comiso.

G — **Necesidad de construir un fuerte con guarnición y una aduana**

[Hay necesidad de] fortaleza en las orillas del [río] Atrato, que sirviendo de aduana para el comercio, resguardase las invasiones con la facilidad que franquea el ancho río, que atraviesan los fuegos del cañón de artillería [...]

pero no sería pequeña la recompensa de estos gastos, ya en los derechos reales de los frutos y efectos comerciales, ya en el tener a cubierto seguro las provincias y sus habitantes, ya finalmente en las copiosas ventajas que sucesivamente reportaría al reino con el fomento de las minas, pues lograrían los mineros comprar los negros, el hierro, acero y demás, por mucho menos de la mitad que en la actualidad desembolsan.

H — Gobiernos políticos del distrito de la Audiencia de Santafé

Son: Antioquía [...] cuyo fondo principalmente consiste en los minerales de oro de que abunda y en que ocupa 1.462 negros esclavos, fuera de otros de particular servicio.

El Chocó, enriquecido con los más preciosos minerales de oro [...] y 4.297 negros esclavos para el trabajo de sus minas. Mariquita [...] cuya provincia se advierte reducida a notoria pobreza por haber faltado, tiempos hace, el trabajo y labor de las minas de plata que antiguamente la hicieron florecer con universal utilidad del reino.

I — Gobiernos en el distrito de la Audiencia de Quito

En el distrito de la Audiencia de Quito [...] tiene el primer lugar el de Popayán. [...] Es una de las provincias más ricas y de bastante población, a que contribuyen sus minerales de oro, en que se numeran 4.765 negros esclavos, empleados en su labor.

[Comercio]

Ningún comercio activo disfruta este reino, pues como se ha dicho consiste su subsistencia actualmente en el oro que se saca de sus minas, sin giro, expendio ni salida de sus frutos y algunas manufacturas [...]. No hay arbitrio para conservar dentro del reino la moneda, por ser la especie necesaria para la compra, y no lograrse proporciones para el canje y cambio de los géneros que entran, por los que produce el país. [...] Lo cierto es que teniendo este reino frutos tan preciosos, abundantes y apetecidos en Europa, el modo de lograr un lucido y pingüe comercio será facilitar su acopio y conducción, pues cuando no se consiguiese otra utilidad que la recompensa de su valor en los géneros y efectos que de fuera necesita, quedaría beneficiado en la retención de la moneda, sin cuya extracción no se debilitaría, antes por el contrario, iría sucesivamente aumentando con el dinero la opulencia en el cultivo de sus minas, agricultura y población.

Para reducir a práctica esta constante verdad, se hace preciso, después de fomentar la labor de minas de oro y plata que abundan en el reino, proporcionando alivios y franquizas a los mineros, dedicarse a facilitar la extracción de los frutos.

A — Fomento al trabajo de las minas

Como en lo presente se carece de todo comercio y la permanencia del reino se vincula en el trabajo de sus minas, cuyo producto en la actualidad es de nueve a diez mil marcos de oro que anualmente se amonedan en las dos casas reales de Santafé y Popayán, es lo que sirve de jugo y nutrimento las funciones de este cuerpo político sufragando para el giro común y rentas reales, se hace indispensable que toda la atención y vigilancia del gobierno se aplique a este principalísimo objeto en que consiste su felicidad, y de que por infalible consecuencia se experimentarán los favorables efectos de que, abundando el oro y plata, se vigorice el comercio, se enriquezcan los vasallos y se aumenten las rentas de S. M.

Sin hipérbole puede asegurarse que todo el Virreinato es un precioso mineral de diferentes apreciables metales, que a poca diligencia se reconocen por los inteligentes, pero no sin costo ni dificultad pueden extraerse y disfrutarse.

B — Casi todo el Virreinato es un mineral

Las provincias de Nóvita y Zitará, en el Chocó, no se componen sino de minas de oro, según antes queda insinuado, con referencia de algunos de los medios que pueden proporcionarse para su adelantamiento. En la provincia de Popayán, con inclusión del Raposo, Quinamayo, vertientes de los ríos Dagua y Yarumanguí y distrito de Barbacoas, se trabajan muchas minas de oro y se cuentan 4.756 negros esclavos, empleados por sus dueños en sus trabajos. Y tanto para su fomento cuanto para descubrimiento de otras, es presumible que contribuya el camino que, según dejó insinuado, se ofreció a abrir don Manuel Caicedo. Convendría solicitar arbitrio de que a precios más cómodos lograsen los mineros la compra de esclavos, que no sería difícil si de cuenta de S. M. se trajesen a Cartagena y se les vendiesen a principal y costos.

Este pensamiento lo han reputado algunos prácticos por acertado para la provincia de Antioquía, donde igualmente se trabajan las minas de oro de que abundan los Remedios, Zaragoza y sitios del distrito. Pero la pobreza de los habitantes y las circunstancias de ser precisos algunos fondos y caudal para dar cuelgas y abastecer las cuadrillas, son dos extremos que excluyéndose entre sí se dificulta el logro de adelantar las minas y aumentar su labor, a que se agrega la aspereza de los caminos y dificultad de transportar los víveres, mercancías y utensilios precisos para el trabajo, pues las dos veredas del monte de Hervé y monte de Nare son tan fragosas, que faltando pastos para las bestias, perecen las mulas, se detienen y averían las cargazonas y a veces arruinan a los interesados, como antes se ha notado. Y si se lograra facilitar los caminos y comercio, se disfrutaría también el de otros metales y frutos, pues allí se encuentran el amianto y la tiza de superior calidad, como se ha reconocido en algunas porciones remitidas a esta ciudad.

En otros lugares, aunque no con esta generalidad, se trabajan algunas minas, como en el Guamo, Chaparral y otros, aún del distrito de Quito, y en muchos se ejercita la gente pobre en lavaderos a orillas de ríos y quebradas, que comúnmente se llaman mazamorreros, porque convidan la tierra a esta ocupación, manifestando que si se venciesen las dificultades sería preciosa la saca de este metal.

El de la plata, que en tiempos anteriores parece haber enriquecido el reino con la saca de la que producían las minas de Mariquita y Pamplona, ha decaído en tanto grado que ya no se amoneda sino, la que en simientes se extrae del oro en las casas de moneda, y suele escasear aún para la fábrica de obras, lo que dimana de que no se trabajan las minas, viéndose con dolor abandonadas las riquezas. El celo de V. E. y su anhelo al servicio del rey y adelantamiento de estas provincias, promovió el trabajo de las del distrito de Pamplona, nombradas de la Montuosa, erogando aún de su peculio alguna cantidad con el laudable objeto de estimular a los particulares con su ejemplo a ocupación tan importante. Al mismo tiempo, conociendo las escasas facultades de los vecinos para una empresa que requiere erogar algunas cantidades anticipadas, para coger después ventajoso fruto, pidió V. E. a S. M. y se dignó conceder benignamente que de su erario se franqueasen hasta 50.000 pesos a los vasallos que necesitasen de este socorro, para emplearse en tan útil ejercicio, afianzando su restitución. Pero todo esto no ha sido bastante para ver logrados los deseos, pues nadie ha esforzado su discurso y facultades, ni ha ocurrido sino uno solo a pedir dinero, que no tuvo efecto favorable, desconfiando casi generalmente del éxito dudoso en semejantes empresas, a que induce haber reconocido que algunos que comenzaron a trabajar las minas de Lajas, en la jurisdicción de Mariquita, han consumido inútilmente sus caudales, sin sacar otro provecho que el desengaño.

A diferentes causas se atribuye esta desgracia, que desde luego no nace de falta de riqueza en las minas, pero las más notorias a los juiciosos son: la poca inteligencia con que se emprende el trabajo; el ningún método que se observa; el defecto de conocimiento de los metales y modo de beneficiarlos, según sus diferentes calidades, y de las máquinas e instrumentos para ello, viéndose no pocas veces algunos que, empeñados en fábricas de hornos, molinos y utensilios, no han cuidado de asegurar la permanencia de las vetas y precaver los riesgos de aguar, faltar del todo derrumbes y semejantes contingencias, que siendo comunes deben cautelarse con anticipación, con lo que no se verían tantos arruinados y arrepentidos, ni su desgracia culpable retraería a otros a imitar no su modo sino su ejercicio. Pero se conceptuó con bastante fundamento por la perspicacia de V. E. que se ocurriría oportunamente a estos años trayendo algunos mineros inteligentes del reino del Perú, que por medio de su instrucción y práctica diesen noticia y enseñasen el modo acertado de las operaciones; y sin reparar en

costos se remitieron dos por el señor virrey de Lima, con tan infausto suceso, que ninguno acreditó su pericia, dando muestras de la ligereza con que obraban y hablaban, y de su poco juiciosa conducta, obligando a que se les despidiesen sin adelantar nada en el objeto principal de su venida.

Más, con todo, parece conveniente no desistir de los emprendidos, sino por el contrario insistir con tesón en procurar y facilitar medios para que las minas de plata se cultiven y trabajen, pues modernamente se ha dado principio a las situadas en el cerro nombrado del Sapo, jurisdicción de Ibagué, que según los ensayos rinden conocida y pocas veces vista utilidad, al respecto de 50 marcos por quintal. Y será útil franquear abundantes auxilios a los que se emplearen en su trabajo, y cuando sea posible, proveerles de negros a precios cómodos, fomentando una ocupación que con la riqueza del vasallo trae unida la felicidad del reino y aun del Estado, sin que en las presentes circunstancias pueda acertadamente proponerse una regla general para el fomento, pues éste deberá verificarse por medio de particulares providencias del gobierno, adecuadas a los casos, sujetos y demás que corresponda a los acontecimientos singulares, con el seguro y cierto conocimiento que el principio sólido de la conservación de este reino y sus adelantamientos consiste en que se trabajen sus minas.

Abundan igualmente en varias provincias del Virreinato las de otros metales. El cobre se encuentra abundantemente, y modernamente en el distrito de la provincia de Vélez se trabaja. Pero su corto consumo, la falta de proporciones para su expendio, y la de martinetes y operarios para construir baterías y demás piezas de servicio, y extrañarlas, son causa de que por no tener salida se ejerciten pocos en su extracción, no obstante de ser su calidad tan superior que de España se comunicó orden para acopiar y destinarlo a la artillería. El plomo a poca diligencia se saca en diferentes lugares copiosamente y de mi orden se ha verificado en las provincias inmediatas a esta ciudad, como también ha sucedido con el azufre, lográndose superior purificado, y a precios muy cómodos. Y con generalidad pródiga la naturaleza provee de todo, siempre que la industria y el arte apliquen los medios conducentes a disfrutarla, pero compite desgraciadamente con la abundancia natural la general desidia, abandono y flojedad de los habitantes que, contentos y amigos con su ocio, no se dedican al trabajo, ni se reconoce el adelantamiento que debía esperarse de tan bellas proporciones.

C — Holgazanes y vagos

Si hubiese arbitrio para que a esta gente perjudicial se emplease útilmente en beneficio público, se haría un notorio servicio a la república y al reino, libertándole de los daños que ocasiona su holgazanería, sacando efectos provechosos de su ocupación, recogiendo y desti-

nándola a la apertura de caminos, trabajo de minas, cultivo de tierras que abundan abandonadas, y aun fijándose poblaciones en sitios oportunos para facilitar los tránsitos y comercio [...]. Pues todo esto, aunque parece perteneciente al gobierno político y eclesiástico, tiene conexión e indirectamente concierne al fomento del comercio y al de la agricultura, pudiéndose ocupar útilmente en su fomento y el de las minas.

D — Minas de piedras preciosas

Fuera de las de oro y demás metales de que va hecha mención, tiene este reino algunas de piedras preciosas que se han trabajado, como las de amatistas, mereciendo sobre todos particular atención las de esmeraldas, por ser las únicas que tal vez se conocen en el orbe descubierto, sin que ningún otro monarca logre en sus dominios esta preciosa piedra, que ha sido tan abundante en este reino, así en el pueblo llamado Somondoco como en la ciudad de Muzo y su distrito, y por lo mismo parece digno de la Majestad no permitir su acabamiento, y conservar y fomentar su labor, mayormente comenzándose a experimentar alguna escasez.

Tal vez por estos motivos se han comunicado a V.E. órdenes de la Corte para que por cuenta de S.M. se trabajen las minas de esmeraldas, y se remitan a España según se fuesen sacando. En cuyo cumplimiento, hallándose desiertas las de Somondoco sin más que unos confusos vestigios de las antiguas labores, dirigió V.E. sus providencias al fomento de las de Muzo, donde todavía se ejercitan algunos particulares en su trabajo, y tomados los informes correspondientes de sujetos prácticos, estableció allí un intendente con dos veedores, y los peones necesarios, con quienes emprendió el trabajo de aquellas minas, que se conceptuaron más pingües y menos expuestas a contingencias de las que, no sin algunos gastos y fatiga, se ha extraído un número competente de marcos de morrallón de diferentes calidades, que en la opinión de los inteligentes pueden, según el importe en que los aprecian, compensar los costos ocasionados, cuya realidad podrá indagarse según el valor que después de labradas tuviesen las esmeraldas en España, a donde se han remitido.

La dificultad en esta materia consiste en que no hay regla cierta que asegure la existencia de la piedra por medio de alguna veta permanente, como sucede en el oro y plata, por cuyo defecto aún los que se suponen peritos se gobiernan por la muestra de cardenillo, u otras señales fáciles, que en ocasiones se han acreditado verdaderas, con un éxito favorable. Pero no pocas veces dejan frustradas las esperanzas, sin hallarse piedra alguna después de haberse consumido el tiempo y dinero en tambres y seguimientos de vetas, sucediendo, por el contrario, que donde no se esperaba se descubre algún criadero y piedras sazonadas, estimulando estas casualidades a no desmayar el trabajo, aunque, por otra parte, obligan a

no fundar segura confianza de que correspondan los efectos a las fatigas y deseos, de que abundan repetidos ejemplares, y constantes experiencias a los que se han ocupado en este ejercicio, con la desgracia de que ninguno ha mejorado de fortuna ni enriquecido por este medio.

No obstante lo expuesto, parece conveniente que se lleve a debido efecto lo mandado por S.M. en sus citadas reales órdenes, y que no se desmaye en el trabajo de minas [de] esmeraldas, así por ser precisa la obediencia, como porque subsanándose los gastos con el valor de las que por casualidad o por industria se extraen, no es pequeño fruto, utilidad y ventaja la que se consigue de conservar en los dominios de S.M. este tesoro, que por singular merece no sólo estimación, sino que se conciliará mayor aprecio entre las demás naciones, debiéndose esperar que por medio de la continuación del trabajo vayan los operarios adquiriendo nuevas luces, con que en lo venidero se haga menos oscuro y más fácil este ejercicio.

[Moneda]

Tiene dos casas [de moneda] este reino [...] este superior gobierno siempre ha sido de dictamen de que la [...] Casa de Moneda de Popayán es inútil, a causa de que con la de esta capital es suficiente para la amonedación de todo el oro que se extrae de los minerales del reino, y aún podría dar abasto a mucho más que se extrajese, aumentando solamente el peonaje. Lo segundo a que se ha conceptuado igualmente pernicioso, porque se recrecen y duplican los gastos, de modo que todo lo que se consume en operarios en Popayán, aumentaría S.M. de utilidades en ésta, donde consume casi 2.000 pesos en sueldos sin reportar por este crecido desembolso los aprovechamientos que lograría si hubiese una sola Casa de Moneda, sobre que podrán reconocerse los procesos y representaciones que sobre uno y otro extremo se han producido, como también el que actualmente pende en orden de compensar al dueño de aquella casa el caudal impedido en su establecimiento, siendo muy digno de atención solicitar remedio para precaver el desorden de la extracción de oros sin quintar, conque se defrauda al erario en los derechos de quinto y cobo, y en los de la almohada, y se perjudica al público y común del comercio, privándole del uso de la moneda y favorables efectos de su circulación, para lo que bastaría se observasen las leyes, si fuese dable su práctica, por provenirse en ellas cuanto conduce al reparo de este daño por medio de Caja de fundición en los minerales, y que se comisasen los oros que no viniesen con guía, destinados a su amonedación.

A — La minoración de 2 pesos en marco no las disfrutaban los mineros

En la citada providencia de incorporación de la Casa de Moneda de Popayán se descubre un rasgo de la benigni-

dad real, y amor de nuestro soberano, que deseando facilitar a los mineros el trabajo, y fomentarles, dispuso que se pagase en las casas de moneda el marco de oro por 130 pesos en lugar de los 128 pesos que antes se satisfacían, llevando en esto por objeto que lograsen los mineros el aumento de la paga, y con estas ventajas reportasen mayor utilidad, haciéndoles menos molesta su ocupación. Pero llega a tanto extremo la desgracia, que esta piadosa providencia, sin lograr, a mi corto entender, el objeto y fin a que se dirige, priva al Erario de 18.000 pesos a 20.000 pesos anuales que importa el exceso de 2 pesos en cada marco de los 9.000 pesos o 10.000 pesos que anualmente se amonedan. Y lo mismo sucede con la condonación del 1/2 peso del derecho de cobo, que se [liberó] a los mineros del reino cuando se estableció la Casa de Popayán, con el fin de que les sirviese de auxilio, y no se ha conseguido, conservando su anterior atraso. Fúndome para esto en la constante experiencia de que los mineros (a excepción de uno, u otro, muy raro y de comodidad) no son los que disfrutaban el aumento de 2 pesos en cada marco, porque éstos no llevan sus oros a las casas de moneda [...] sino otros individuos dedicados a la negociación del rescate y cambio de los oros, los cuales aun antes de estar extraídos de las minas ya tienen suplido con anticipo el importe al minero, el cual por las necesidades y urgencia que regularmente padece, rescata y se obliga a entregar el oro al precio acostumbrado de 2 pesos por castellano, que por los motivos expresados nunca se altera, aunque en la Casa de Moneda se satisfaga a 130 pesos el marco. De suerte que esta ventaja la viene a disfrutar el rescatante o negociador y no el minero, de cuya verdad es fácil testigo la experiencia de lo acaecido después que en las casas de moneda se dio principio a la paga de 130 pesos, en cuyo tiempo se ha reconocido que el rescate no ha excedido el precio de 2 pesos castellano.

B — Pensamiento para que la gracia concedida redundase en beneficio de los mineros del reino

Por estas reflexiones, de cuya verdad no puede dudarse,

6. INSTRUCCION QUE DEJA A SU SUCESOR EN EL MANDO, MANUEL ANTONIO FLORES, EL VIRREY MANUEL GUIRIOR (1776)

Excmo. Sr.:

Muy Sr. Mío: Cuando el precepto de la ley municipal no me obligara a formar la presente Relación del estado de este reino, el amor que le he contraído y a sus habitantes durante mi gobierno me induciría gustoso a ello, por si acaso las noticias adquiridas y la idea que tengo formada pueden contribuir en algún modo a facilitar sus adelantamientos con beneficio universal del Estado. No obstante

me ha ocurrido el pensamiento de que mediante a privarse S.M. de 2 pesos en cada marco de los que se amonedan con el fin de que esto redunde en beneficio de los mineros, y fomento de la labor de las minas, sería tal vez conveniente para el logro de estos designios no la paga de 130 pesos por marco, sino hacer novedad en el precio de 128 pesos que hasta ahora se ha observado en las casas de moneda incorporadas a la Real Corona, [que] se hiciere un fondo de los 2 pesos de diferencia con que S.M. quiere aliviar a los mineros, que como va expresado importan cada año 18.000 pesos ó 20.000 pesos, por ser 9.000 ó 10.000 marcos los que se amonedan, con cuyo capital o fondo dentro de muy pocos años, desde luego se pueden proporcionar mayores ventajas, para que se fomenten las minas y se haga menos molesta esta ocupación a los vasallos, como por ejemplo limpiar y facilitar caminos y tránsito para el acarreo de víveres y demás necesario, conducir negros y herramientas por cuenta del capital, y franqueárselas a los mineros a principal y costos; u otros semejantes arbitrios, que es muy fácil meditar y que tal vez las mismas ocurrencias circunstancias acreditaran de acertados, y aun de necesarios, en la inteligencia cierta de que interin no se versen las ventajas inmediatamente con los mismos mineros no será asequible el objeto a que se aspira.

No he tenido libertad en la ejecución, como precisada del superior precepto de V.E., de quien espero la más benigna indulgencia de mis yerros, como que conoce lo recto de la intención, recibiendo las gracias que humildemente tributo a V.E. por la benignidad y amor que entre las demás virtudes y heroicas prendas han resplandecido como piedras preciosas en la corona que se ha fabricado V.E. con su acertado gobierno, reconociéndolo el público advertido por autor de sus felicidades, y libertador de no pocas desgracias. La Divina Majestad, y también la humana, premien a V.E. tan singulares servicios, colmándole de prosperidades, como desea y pide su más obligado servidor, que agradecido y rendido B. L. M. de V. E.

D. Francisco Antonio Moreno y Escandón.

solución del superior, por cuya causa aunque al principio serán muchos los papeles y empresas que se presentarán a V.E. (como a todos), llenas a primera vista de celo, con promesas ventajosas que el pincel de la pluma pondera teóricamente conviene sin despreciarla suspender el ascenso hasta cerciorarse de la facilidad que tenga su ejecución en la práctica e inconvenientes que puedan resultar, así como para la parte opuesta se requiere a veces llevar con tesón algunos pensamientos a debido efecto sin detenerse en las dilaciones que se pretextan necesarias, y sólo sirven de ofuscar la verdad y dilatar el real servicio. Pues como acreditará V.E. con la experiencia, el gobierno en Indias requiere muy distintas reglas, ya por las crecidas distancias y genio de sus habitantes, ya por los usos antiguos y diversos de las provincias, ya por otras causas de que haré mención oportunamente en este discurso, en que siguiendo el método de mis antecesores, dividiré en cuatro clases su contenido, con la precisa separación de asuntos, omitiendo aquellos que no es fácil confiar a la pluma por los riesgos y daños que ocasionaría su publicidad, y de que reservadamente, de palabra o por escrito, pienso noticiar a V.E., para que su prudencia pueda hacer de estos avisos el buen uso que la parezca conveniente.

(Gobierno y Administración de Justicia)

No pudiendo tratar prolijamente de cada uno de los diferentes puntos que comprende la generalidad del gobierno de un reino vasto y en la mayor parte inculto, me reduciré a los que por ahora considero más necesarios, dando principio por la labor de minas, en que parece consiste toda la subsistencia del reino y se clama con razón por su fomento y alivio de los mineros. Porque no habiendo comercio activo ni expendio y saca de los frutos del país, queda reducido el humor de este cuerpo al oro que se extrae de las minas, por cuya razón todos convienen en este pensamiento. Pero sin embargo nadie hasta ahora lo ha conseguido, sin duda por las graves dificultades que concurren en la práctica que he tocado por el anhelo con que he solicitado su consecución.

A — Motivos que dificultan el trabajo de las minas

Aunque las minas de que abundan diferentes provincias sean ricas, permanentes y preciosas, se inutilizan por estar distantes, con fragosos dilatados caminos que impiden la conducción de instrumentos, negros, víveres y demás necesario, impidiendo los riesgos y crecidos costos que el minero logre utilidad ni pueda aumentar la saca de metales, o descubrir nuevos criaderos o vetas. Esta dificultad sólo puede vencerse facilitando los caminos para que sea menos costoso el transporte y más frecuente la comunicación. Pero todo el erario no sería bastante para esta empresa, que a mi ver no podrá lograrse de otro modo que introduciendo y fomentando el comercio, sin el cual nada podrá conseguirse. Y cualquiera otra medicina que se aplicare a esta enfermedad será bastante para mi-

tigarla, pero de ninguna suerte para extinguirla radicalmente, por las obvias reflexiones que fácilmente lo convencen y sería ocioso explicar.

B — Se ha dirigido la atención a fomentar el comercio interior y ultramarino

Fundado en este principio, que tengo por incontrastable, he dirigido toda la atención a vivificar el comercio, no sólo interior de unos puertos y provincias con otras, sino también el que se versa con los dominios de España y tiene estrecha conexión con la navegación, quitando los excesivos derechos e inútiles formalidades que ha introducido la codicia y reduciéndolas a su casi total exterminio.

C — Informes de sujetos prácticos en el asunto de las utilidades de este tráfico [del río Atrato]

[...] Se persuade la utilidad y común beneficio que debe esperarse de que se navegue dicho río, y que por aquella vereda se establezca comercio y se provean la provincia del Chocó de todo cuanto necesitan, conduciéndose a pequeño costo y corto tiempo de Cartagena los efectos, hierro, acero, negros y víveres, para que puedan tomar vigor los mineros y dedicarse al importante trabajo de las minas, sacudiendo la miseria que por la distancia y carestía les tiene oprimidos de deudas y trampas, que de otro modo no podrán satisfacer ni adelantar en sus ejercicios. En este concepto convinieron (a excepción de algunos comerciantes poco instruidos) todos los informes y la exposición fiscal, con referencia a lo que mi antecesor me había insinuado en este asunto.

D — Fabricar aduana con un oficial real para registro y cobro de derechos reales [en la navegación del río Atrato en el sitio de la Loma de las Pulgas]

[...] A las embarcaciones que siempre deben atracar allí a presentar sus guías y pasaportes, con manifestación de la carga en la aduana que debe construirse a cargo de un oficial real que cele toda contravención y trato ilícito, [se debe decomisar] lo que hallare sin los requisitos legales, cobrando los derechos reales establecidos, con lo que se ocurre a todo y al ponderado inconveniente de que se extraigan del Chocó los oros en polvo sin fundir ni pagar los derechos de quinto y cobro, por deberse manifestar allí y no tolerarse su remesa, como que según la ley debe encaminarse a la Casa de Moneda a labrarse, lo que se facilitará más si se establece en el Chocó una caja de fundición donde purgados los derechos se fundan los oros y ninguno salga en polvo.

E — Ventajas que resultan a los mineros de este comercio y abasto [de Guayaquil al Chocó]

Y bien instruido de que no hay tropiezo alguno que em-

barace la libertad absoluta de comerciar y proveer de víveres al Chocó por la vereda de Guayaquil, y que antes por el contrario, puede contribuir mucho al adelantamiento recíproco de ambas provincias, expedí orden para que sin la limitación antecedente pudiesen francamente navegar todos los barcos que los individuos de una y otra provincia pudiesen habilitar con víveres y efectos permitidos, con las guías correspondientes y bajo los requisitos prevenidos por derecho en casos semejantes de manifestación, visita y paga de reales derechos establecidos con el fin de procurar el alivio de los mineros, que padecen no pocas escaseces de lo más preciso para su alimento y de sus cuadrilla, y aun con este socorro suelen no evitar en tiempo de rigurosos inviernos o langostas, como últimamente ha sucedido, sin que pueda alcanzarse la razón porque habiendo la naturaleza proveído al Chocó de dos ríos por donde pueda proveerse cómodamente de los dos mares del Norte y Sur, se hayan dirigido las providencias del gobierno a cerrar estas dos puertas, prohibiendo su entrada y tránsito con graves penas, hasta la del último suplicio, precisando a los mineros a vivir siempre en miseria y haciendo más dificultosa y pesada la extracción de los oros de que abunda.

F — Se introducen al reino más efectos de los que puede consumir y daños que de éstos resultan

En este principio estriba la decadencia del reino, pues no dando frutos en cambio de los que recibe para su consumo, es preciso que el poco oro que se extrae de sus minas jamás permanezca en el Virreinato para darle vigor, sino que brevemente, y casi sin la menor circulación, salga a la costa para pagar los efectos y géneros de Europa, que entran en mayor proporción de la que permiten sus facultades, ocasionándose [...] perjuicios.

G — Frutos que sin el oro podría comerciar el reino

[...] Pues la razón y la experiencia enseñan que no pudiendo los vecinos lograr ropas y efectos de lícita entrada a cambio de las producciones de su país, se dedican a comerciar con los extranjeros, dándoles grata acogida porque les proveen de lo que necesitaban, recibiendo en precio la madera, sebo, mulas, algodón, palo de tinte y semejantes, frutos que fácilmente acopian, cuando para el comercio de España no se admite otra especie que el oro o plata en pasta o moneda, siendo cierto que son muchos y apreciables los efectos con que la nación podría enriquecerse su comercio.

(Real Hacienda)

A — Enigma de difícil resolución cuál sea la causa de crisis del Erario en este Reino según las circunstancias que se indican

Confieso a V.E. que después de diferentes reflexiones

hechas sobre este punto, no he podido indagar bastante mente cuál sea la causa de que la Real Hacienda se pueda aumentar en un reino donde no se labra otra plata que la se supuran los oros en la Casa de Moneda, ni se reconoce otro fondo anual que los oros que se extraen de sus minas, en que con corta diferencia no hay variedad de aumento de uno a otro año. Y por otra parte no produce frutos algunos que comerciados con otras provincias o reinos pudieran, ya que no traerle dinero, a lo menos conservarles alguno del que sus minas producen, mayormente siendo muy considerable la saca de moneda para Europa en los repetidos registros que salen de Cartagena, y parece increíble a quien conoce la pobreza y poca substancia del reino, como lo advertirá la comprensión de V.E. y podrá discernir mejor la causa de este enigma, que será muy útil para el acertado manejo del Erario, pues yo, con este conocimiento, he suspendido ejecutar muchas ideas que parecían ventajosas, temeroso de extenuarlo, omitiendo nuevas rentas e impuestos y dirigiendo la atención al mejoramiento de lo ya establecido, no obstante la grave dificultad que se encuentra en hallar sujetos de la fidelidad que requiere el delicado encargo de manejar la Real Hacienda.

B — Daños que resultan de permitirse la conducción de oro en barras a España

[...] Y resultando diferencia haga cargo a quien corresponda, de que enterado V.E. podrá prescribir las oportunas reglas que le dictaren su prudencia y acreditado celo, verificando lo mismo en lo concerniente al ramo de quintos y cobros y cautelando como tan perjudicial la extracción de oros, en cuya amoneda principalmente consiste la substancia del reino; sin embargo, de que considero ser perjudicial el real permiso por el que S. M. ha condonado parte de los derechos a los oros que fundidos en barras y satisfechos los de quinto y cobro, se condujesen bajo de registro a España para labrarse en aquellas Casas de Moneda [...].

C — Perjuicio de los derechos de amoneda

[...] por que consiguientemente se priva este reino de los derechos de amoneda que dejarían aquellos oros, y de las ventajas que amonedado produciría en el comercio, fuera del riesgo de que se extraiga sin quintar, con el pretexto de que se conduce para remitir a España, sin que pueda comisarse ni observarse lo prevenido por las leyes de estas Indias en semejantes casos, mayormente habiendo en el reino dos casas de moneda que cada una sería bastante para labrar no sólo el oro que se extrae de todas sus minas, sino un número incomparablemente mayor, como que regularmente sólo se labran en ambas casas 9.000 marcos, con poca diferencia, resultando corta utilidad por los sueldos de ministros y operarios que es indispensable satisfacer así en la Casa de esta capital

como en la de Popayán, según la última determinación de S. M. a cuyo contexto me he arreglado.

D — Los asuntos que piden sigilo, reserva comunicarlos por separado y de palabra

Si algo de nuevo ocurriere desde esta fecha hasta que tenga la satisfacción de ver a V. E. y entregarle el mando de este reino, lo notificaré, y al mismo tiempo tendré la de manifestarle de palabra todo aquello que considero podrá de algún modo facilitar los primeros pasos al acierto, como los más difíciles a quien no tiene práctico conocimiento del país, significándole asimismo lo concerniente a los principales sujetos y demás que ni es fácil ni con-

veniente confiar a la pluma. Pues para todo lo que se versa en asuntos pendientes, representaciones hechas a la corte, cédulas y reales órdenes, encontrará V. E. en mi secretaría de cámara los legajos con el debido orden, claridad y distinción de asuntos, y con la misma se hará formal entrega por inventario, como V. E. se sirviese disponerlo. Repitiéndole mis deseos de que transferido con feliz viaje a esta capital, consiga, como me prometo, los adelantamientos de este reino y el mejor servicio de S. M.

Nuestro Señor guarde a V. E. muchos años, como deseo.

Santafé, 18 de enero de 1776.

Manuel de Guirior.

7. RELACION DEL ESTADO DEL NUEVO REINO DE GRANADA QUE HACE EL ARZOBISPO OBISPO DE CORDOBA A SU SUCESOR FRANCISCO GIL Y LEMOS (1789)

Excmo. Señor:

El dilatado espacio de más de diez años que he permanecido en este reino; la doble autoridad del Arzobispo Virrey, que en los seis y medio últimos he representado en él; mis casi continuas peregrinaciones por varias de sus provincias; las terribles convulsiones, felizmente cortadas, que sufrió su antigua fidelidad; los varios proyectos, establecimientos y reformas y finalmente las operaciones políticas, reglamentos económicos y expediciones militares en que me he ejercitado durante mi gobierno, me suministran las luces necesarias para cumplir con lo que la ley municipal de estos reinos me ordena y manifestar a vuestra excelencia el estado en que se hallaba este reino a mi ingreso en el mando, las providencias que he tomado para su restablecimiento y fidelidad y las que me parece convendrían para su progresivo fomento.

Mis primeros pasos fueron lentos y muy pausados, como de quien caminaba sobre ruinas y escombros y ponía la mano sobre una llaga apenas cicatrizada. Con todo, me valí del mismo desorden y confusión para introducir novedades convenientes y sedimentar más oportunamente los varios cuerpos del Estado.

(Parte Segunda. Del Gobierno y Administración de Justicia)

CAPITULO CUARTO. DE LAS MINAS

A — Causas generales de la decadencia de las minas

En gran parte del reino el beneficio de las minas ha ocupado el lugar de la agricultura, de las artes y del comercio, porque ofreciendo espontáneamente la tierra los metales, se han deslumbrado todos y sin excepción se han aplica-

do a mineros, y faltando el equilibrio con que mutuamente se sostienen los tres ramos, ha cargado todo el peso sobre el único atendido de minas, y de este modo todo es necesario introducirlo de afuera y pagarlo a peso de oro. Esta es la verdadera causa, porque no hay gente más pobre que los mineros, ni que pueda menos satisfacer sus empeños.

B — Ignorancia de los mineros

No teniendo más atención ni industria que las minas, parece que deberían haber apurado ya todo lo que el arte da de sí, y aprendido a economizar para aprovechar toda la sustancia de sus minas; pero nada menos. Causa admiración oír lo que se desperdicia por falta de inteligencia y cuidado, de modo que no será ponderación si se dice que apenas sacan la mitad del metal que pudieran, y la prueba más evidente es que en todas las tierras de minas en labor hay infinitos holgazanes sin más subsistencia que rebajar los terrenos y escombros que dejan los mineros.

C — Remedios generales para el fomento de las minas

En dos puntos [...] consiste la prosperidad de las minas en general: en proporcionar a los mineros víveres y herramientas baratas, sea facilitando los caminos, sea fomentando las siembras y crías cerca de los minerales, y en que cada minero tenga un sujeto hábil en sus minas para dirigir las operaciones con conocimiento, en lo que ganarían mucho los dueños, aunque les señalaran a estos directores un crecido sueldo. Pero hay escasez de estos hombres inteligentes, y en esto necesitan de la protección del gobierno para proporcionárselos, lo que entre

tanto podría suplirse con que el rector de minas, Don Juan José D'Elhúyar, formare una exacta instrucción del modo de beneficiar los varios metales del reino, para que por ella se gobiernen.

D — Minas de cobre y plomo

Sin embargo de que en muchísimas partes del reino hay minas de cobre y plomo, sólo se trabaja alguna cosa en las de Monquirá, porque su maravillosa riqueza y abundancia puede dejar alguna utilidad a los que las benefician con tanta grosería. Los dueños de estas minas son los que menos las trabajan, porque ha llegado la ociosidad al grado de arrendarlas por cierto tiempo a otros por determinada cantidad en que convienen. Estos arrendatarios, como que cultivan hacienda ajena, no tratan sino de sacarle la posible utilidad, y en nada menos piensan que limpiar la mina de los escombros, y cuidar de la seguridad y firmeza de los estribos, con notorio peligro de su vida o de los que les sucedan en el beneficio de la mina, de donde resultan continuos derrumbes, y cegarse riquísimas vetas a perpetuidad, porque nadie quiere sacrificar la más mínima parte de su caudal en limpiar y descubrir nuevamente, habiendo otras que sin este coste ofrecen la misma utilidad. Pero no por esto sacan ganancias considerables, porque su método de fundir el mineral es tan imperfecto que pierden la mitad del metal. Y por esto, aunque en todos los tiempos ha procurado la corte se surta esta plaza del plomo y cobre del reino, y aún ha mandado que de éste se remita a España para las fundiciones de artillería, no se ha podido verificar porqué se ha comprobado que saldría más costoso que el de Hungría y Suecia.

En el día se halla algún tanto reformado este malísimo método con motivo de la Visita que de mi orden hizo a estas minas el comandante de artillería de Santafé Don Domingo Esquiaqui, quien les instruyó del modo con que habían de hacer sus operaciones. Pero es de creer que no todos hayan querido adoptar lo que se les enseñó, ni duren mucho en su práctica los que han entrado en el nuevo método, porque aunque sea infinitamente más útil, basta que sea un tanto más laborioso para fastidiarse presto y volver a su antigua costumbre. Para arraigar este nuevo método u otro mejor que se tenga por conveniente, propone Esquiaqui, y creen muy útil los directores D'Elhúyar y Mutis, que en aquellas jurisdicciones haya una persona inteligente de parte del gobierno que cele el laboreo de las minas con las formalidades que ordenan las leyes en punto de su seguridad, y haga observar las instrucciones que se den a los mineros para el beneficio. De este modo podrán conseguirse porciones considerables de plomo y cobre a precios cómodos hasta poderse cumplir con las remisiones pedidas de España. Igualmente se podría establecer en la capital de Santafé un martinete de batir cobre, haciendo venir de México, por más pronto recurso, dos oficiales instruidos en estas operaciones. Una fábrica de este género es muy conve-

niente en la capital del reino, pues en ella se harían fondos para el uso de los trapiches, calderas, peroles, olletas, y otros utensilios, que tendrían salida, no sólo en las inmediaciones de Santafé, sino en todas las demás provincias del reino, por la facilidad del transporte, pues en lugar de una pieza que hoy se conduce de cobre fundido podrían llevarse seis u ocho del mismo tamaño, de cobre batido, saliendo más barato y más cómodo para los usos a que se destina.

E — Minas de oro

En las cercanías de la ciudad de Girón, en la provincia de Neiva y en muchos lugares del reino, por no decir en todos, se encuentra el oro corrido en mayor o menor cantidad y en más o menos subida ley. Este es el recurso de los que por su pobreza u ociosidad se llaman mazamoreros, que no pudiendo o no queriendo emprender cortes formales, ni operación alguna de entidad, se contentan con buscar el oro en los empozamientos o rebales de los ríos y quebradas, que gran cantidad suelen hallarse en el fondo de lo que han arrastrado de las montañas de donde bajan.

F — Minas de Antioquía

[...] En Antioquía es demasiado común esta especie de mineros, pero también los hay en grande y que trabajan con cuadrillas de negros, más o menos numerosas, según las facultades de cada empresario. El año pasado de 1770 se computaban en esta provincia 1.462 negros; en el de 1778, según el padrón general, 4.896, y en el de 1788 bajaron a 4.296, según el padrón particular de este año. El oidor Don Juan Antonio Mon en su Visita dictó las providencias más oportunas para el fomento de estas minas, formando ordenanzas para su gobierno y mandando que todos los mineros hicieran algunas siembras y tuvieran la cría posible de ganados.

G — Minas del Chocó

Las minas del Chocó son todavía más ricas y abundantes, aunque en mi concepto también las que padecen más sensiblemente los estragos de la escasez de víveres y falta de inteligencia, que dije era general en todas las minas. Nuestro antecesor D. Manuel de Flores hizo facilitar la áspera montaña de Quindío, con el fin de proporcionarles los auxilios a más cómodos precios de las jurisdicciones de Ibagué, Buga y Cali. Y yo, en cuanto se hizo transitable sin peligro el río Atrato con la reducción de los indios del Darién, he concedido licencias particulares para que por él se introdujeran negros, víveres y herramientas, y aún por cuenta del rey repartió entre los mineros el fiscal Don Antonio Yáñez, siendo visitador de esta provincia, negros, concediéndoles los plazos competentes para su satisfacción, con el fin de fomentar las

labores y evitar las confiscaciones y embargos continuos con que los acreedores particulares han arruinado a muchos mineros. En estas minas trabajaban el año de 1770 4.297 negros, siendo la causa de esta diferencia estar incluidos en la primera numeración los de la provincia de Barbacoas que no están comprendidos en la segunda. No sé en el día cuántos existirán, pero es natural haya algún aumento, pues fuera de las introducciones particulares, se ha verificado la del repartimiento del fiscal Don Antonio Yáñez.

H — Minas de Popayán

Pero las minas que ciertamente van caminando a su prosperidad son las del Popayán, porque es donde primero se ha visto en este reino formarse una Compañía de accionistas para la explotación de las riquísimas de Almaguer. Al principio sólo tuvo de fondo 24.000 pesos, y no siendo bastantes ocurrió a mí para que le concediese en calidad de empréstito 8.000 mil pesos de la Real Hacienda, a lo que no pude acceder, por las graves urgencias del erario, pero supliqué a Su Majestad se dignare interesarse en cuatro acciones y ofrecí a la Compañía toda la protección del gobierno. Los felices efectos que tuvieron las primeras operaciones llamaron la atención del público, de modo que no sólo ha adelantado la Compañía su fondo a 40.000 pesos, sino que ha cerrado el recurso a muchos otros accionistas que pretendía interesarse. El año de 1770 existían en las minas de Popayán 4.765 negros, el de 1778, 6.320, y el de 1788 subieron a 9.313, bien que, tanto en estas numeraciones como en las del Chocó y Antioquía, es necesario rebajar una tercera parte que se computa de párvulos y empleados en el servicio doméstico de sus dueños.

I — Moneda que se acuña en Popayán

Los oros de la mayor parte del Chocó y de toda la provincia de Popayán se acuñan en la Casa de Moneda de esta ciudad, y, según los estados remitidos por el superintendente, se amonedaron el año de 1778 5.828 marcos 3 onzas, que produjeron de moneda 792.838 pesos y casi sin intención se han ido aumentando las entradas hasta haber llegado el año pasado de 1787 a 7.301 marcos, 5 onzas y 4 octavos el oro introducido, que produjo en moneda corriente 992.613 pesos, cuatro reales, de modo que comparada una cantidad con otra hay de diferencia cerca de 200.000 pesos.

Por real orden está mandado que en las casas de moneda no se remachen o alcen los oros con otra cosa que con otros oros bajos, pero en ésta de Popayán no se ha podido cumplir, a causa de que los pocos oros bajos que entran no alcanzan para reducir a los quilates de ordenanza los muchos de muy subida ley que se introducen, y habiéndome consultado el superintendente lo que debe-

ría hacer en semejante caso, di cuenta a la corte para que Su Majestad resolviera esta gloriosa duda.

J — Moneda que se acuña en Santafé

En la Casa de Moneda de Santafé se acuñan los oros que producen las provincias de Antioquía, parte del Chocó, Neiva, Girón, Chaparral y demás mazamorrerías del reino. El año de 1778 entraron en cuña 5.078 marcos, 6 onzas y 4 octavos, que produjeron 693.438 pesos, 4 reales y del mismo modo que en Popayán se han ido aumentando progresivamente las entradas, habiendo sido las del año de 1787 de 7.218 marcos, 3 onzas y 2 tomines, que dieron 981.655 pesos, cantidad que excede a la primera en 288.216 pesos.

K — De las minas de plata

A pesar de la constancia con que se han trabajado las minas de oro, ha sido notoria la decadencia de este reino desde que en el siglo pasado, con motivo de la prohibición de las minas, se abandonaron las de plata que en maravillosas porciones se extraía de las minas de Montuosa y vetas de Pamplona y de las de Santa Ana, Lajas y Manta de Mariquita, de modo que, privados los mineros del forzado trabajo de los indios al principio del siglo, se veía como quimérica la empresa de su beneficio. Se mantuvieron en este abandono hasta el año de 1750, en que, en virtud de reales instrucciones, trató el señor Pizarro de su restablecimiento y, en efecto, cuatro casas de las más fuertes del comercio juntaron un fondo competente para la empresa, pero pretendieron del gobierno condiciones que parecieron a este virrey demasiado gravosas, en lo que las minas quedaron en el mismo letargo. Después el señor Cerda, con avíos o antelaciones de cuenta de [la] Real Hacienda, con mineros que hizo conducir del Perú y con todo género de auxilios se empeñó en restablecerlas; pero la crasa ignorancia de los conducidos, no sólo desgració la empresa, sino que desacreditó las minas y desanimó a los pocos que estaban en expectativa y ya no se pensó más en minas de plata, hasta que, instruído yo de ser la verdadera causa la falta de empresarios, la poca utilidad que dejaba el dispendioso método de amalgamación del modo que antiguamente se practicaba, con que se consumía mucho azogue y se extraía poco metal, propuse a la corte se remitiesen a mis expensas dos mineros instruídos en el método de fundición, practicado con notorias ventajas en las minas de Suecia y Alemania con el fin de que difundiesen su conocimiento entre estos mineros.

L — Método de fundición

S. M. no sólo se dignó aprobar el pensamiento, sino que mandó que de la Real Hacienda se diesen todos los auxi-

lios necesarios a Don Juan José D'Elhúyar, que después de haber estado en muchas minas de Alemania venía con título de director de minas a establecer el deseado método de fundición. Luego que llegó este mineralogista le destiné a explorar las minas de Mariquita, y de resultas de su reconocimiento me informó que estaban aún casi vírgenes y eran riquísimas, que aún los terrenos de las antiguas eran beneficiables, y finalmente, que convendría que por cuenta del rey se trabajaren algunas, porque sin que se vieran los hechos mismos nunca se conseguiría que los particulares se animaren a empresa alguna. En efecto, mandé que así se hiciese y asigné para los gastos 1.500 pesos mensuales, habiendo Su Majestad dignádose aprobar esta empresa y mandando se le diese cuenta sucesivamente de sus progresos.

M — Nuevo método de amalgamación

Y cuando estaban ya con bastante mineral para dar principio a las fundiciones, se empezaron a rugir las voces de un nuevo método de amalgamación más útil aún y económico que el de fundición, que acababa de descubrir el Barón de Born, con lo que mandó, por real orden, suspender las operaciones, y entre tanto se iban construyendo las oficinas necesarias, hasta que finalmente vinieron las instrucciones, con que se empezaron a construir las máquinas necesarias. El nuevo método del Barón de Born consiste principalmente en pulverizar por medio de la arrastra el mineral hasta hacerlo impalpable, para que tocándolo el azogue por más puntos, no se escape de su actividad particular alguna de metal. De aquí resulta, según informe de D'Elhúyar, haber observado en sus ensayos que saca el metal toda su ley, que se extrae todo [...].

N — Su utilidad y ventajas

[...] Siendo así que en el antiguo se dejaba una tercera parte entre el material; que se ahorran tres cuartas partes de azogue, por lo menos, que gastándose antiguamente diez días y tal vez muchos más en una operación, con el nuevo método se hace en cuatro horas, pudiéndose repetir dos veces al día, que, a razón de 25 quintales por cada vez, se beneficiarían 50 por día en las operaciones por mayor; y últimamente a consecuencia de mis órdenes, me ha informado estar concluyendo las oficinas y máquinas para las operaciones por mayor, que existen más de 60 quintales de mineral ya preparados, que aunque es siempre aventurado cualquier cálculo de la plata que pueda dar, sin embargo, pueden asegurarse se contendrá 4.000 marcos, que no debe esperarse se saquen en las primeras operaciones los costos, pues la mayor parte se ha empleado en la construcción de oficinas y máquinas, en quitar escombros y malezas, descubrir las vetas, levantar estantes para la seguridad de las mismas que estaban ruinosas, y en ponerlas en estado de trabajo; que

el mineral existente es extraído únicamente de las cuatro minas que se han puesto en labor, y finalmente, que siendo los gastos hasta aquí hechos generales y perpetuos, no deben entrar en partida de cargo en los cálculos que se hagan en las primeras operaciones. En el día creo tendrá concluido todo lo que necesita para empezar a obrar y a verse nuevamente después de más de un siglo la plata de este reino, con que llegará a hacerse más poderoso que el de México si se fomentan todas sus ricas minas, según parece tiene determinado S. M. que acaba de remitir siete mineros alemanes, y uno de ellos capaz de dirigir cualquiera operación, lo que inmediatamente hice pasar a Mariquita, a disposición del Director D'Elhúyar.

O — Descubrimiento de vetas de azogue

Parece que para que no faltara cosa alguna al fomento de las minas del reino, también depositó la naturaleza entre las de plata y oro las de azogue, de que se han encontrado algunas porciones en Antioquía, Carolina y río Sinú, de que remití muestras a la corte; pero se cree que todas bajan de las montañas de Quindío, en que por dirección de D. José Mutis se han descubierto seis vetas, y aunque algún tanto cargadas de cinabrios, según resultó del reconocimiento hecho de orden de la corte, sin embargo, siendo de tanta importancia este descubrimiento, mandó S. M. se pusiesen todos los medios posibles para su consecución, y se diese cuenta de lo que se adelantare en la materia. Igual invención se dice hecha de azogue puro sin mineralizar [se encontró] cerca de Portobelo, y S. M. mandó primero se examinare este negocio, de que no ha habido contestación de aquel gobernador a quien lo encargué.

P — Importancia de su beneficio

Pero de cualquier parte que sea, nada hay más importante que la invención de un mineral de azogue en un tiempo en que las minas de Guancabélica apenas sufragan a sus atenciones, que en las del Almadén se nota decadencia, y que en Nueva España se han aumentado los consumos; causas todas que han obligado al gobierno a adelantar la contrata hasta 10.000 quintales del que se toma de las de Hungría, y que todavía estrechará más la necesidad con el restablecimiento de las minas de plata de este reino, sin antes de consumirse de 13 a 14 000 botellas que hay en los almacenes de Mariquita no se procurara formalizar el beneficio de las vetas descubiertas, y podrían ser tales que sobrase para remitir a Nueva España, con que se evitaría la extracción de las gruesas cantidades con que se paga el de Hungría.

Q — Colección y estanco de platina

La maleabilidad que últimamente se ha conseguido dar a la platina no sólo ha colmado de gloria a quien supo re-

solver el problema de la química, sino que ha hecho más interesante la provincia del Chocó, único depósito de este nuevo metal, y queriendo el rey pagar a Dios las primicias de este nuevo fruto de sus dominios, y dejar a sus augustos descendientes una tierna memoria de su amor, resolvió se hiciese de él un juego completo de servicio de altar y una vajilla para vincular en la casa real, prohibiendo a este efecto su comercio como metal privativo de la Real Corona. Para llenar los deseos de S. M. nombré Visitador del Chocó al fiscal Don Antonio Vicente Yáñez, con el fin de que no sólo reformase los graves abusos introducidos en esta provincia, sino que al mismo tiempo recogiere las cantidades posibles de platina y la declarase reservada a S. M., y no teniéndose por conveniente trabajarse las minas por cuenta del rey, como la previenen las reales órdenes de la materia, se tomaron todas las providencias convenientes para que todos los mineros consignen en aquellas cajas reales, al cómodo precio de 2 pesos por libra, la platina que se encuentre siempre en mayor o menor cantidad mezclada con el oro. Siendo las minas de la provincia del Chocó donde se encuentra con más abundancia, especialmente en las del Apogodó, que tiene fama de ser casi toda de platina, el fiscal Yáñez, en cumplimiento de su comisión, recogió la considerable cantidad de 120 arrobas, de la cual y más de 20 libras traídas de Popayán, aunque siempre de las minas del Chocó, tengo participado al rey ser yo mismo el conductor para ofrecerla a los reales pies de S. M., que con esta cantidad y 32 arrobas más que anteriormente tengo remitidas, acaso habrá para satisfacer sus piadosos deseos.

También las esmeraldas son una producción privativa de este reino, igualmente reservada a S. M., cuyas minas se hallan en la cercanía de la ciudad de Muzo. Desde el año de 1777 tenía mandado S. M. se tratase de su arreglo y mejor beneficio, porque la poca inteligencia de los que las manejaban malograba mucha parte de su precioso fruto, para cuyo remedio mandé al director de minas Don Juan José D'Elhúyar las visitase, y en efecto las examinó y formó instrucciones para su más útil laboreo. Aunque hasta ahora no se han conocido más minas de esmeraldas que las de Muzo, el Padre Fray Diego García, explorando las montañas de la ciudad de La Palma, encontró hasta siete criaderos de ellas, y se cree ser parte de la misma cordillera de Muzo.

R — Fomento de las minas de Quito

Finalmente, por real orden está mandado se procure fomentar las minas de Quito. En su cumplimiento se han traído algunas piedras minerales para que las examine D'Elhúyar y creo no han dado los mejores ensayos en comparación de la riqueza del resto del reino.

S — Introducción de negros

Facilitados los víveres y herramientas a cómodos precios,

médicos, en los reales de minas, y enseñados los mineros a beneficiarlas con inteligencia y economía, que son los dos puntos en que dije consistía su fomento, estarán en estado de aumentar cómodamente los brazos de su laboreo, tanto porque no costará mucho su subsistencia, cuanto porque con las mayores ganancias podrán comprarlos más baratos a dinero de contado, y no harán sus operaciones en la dispendiosa precipitación que en el día, por satisfacer a sus acreedores.

Ya tengo insinuado el número de negros que hay en las mismas minas del Chocó, Popayán y Antioquía; pero aún podrían ocuparse infinitos más, y por muchos que se introduzcan, jamás habrá los bastantes, aunque no se les destinase sino al duro trabajo de las minas. Las de Mariquita se trabajan por jornaleros libres, y está comprobado que, si se trabajasen por esclavos, se ahorraría más de 100 por 100 en los costos (*). En esta necesidad de negros para el fomento de las minas me ha hecho conceder varias licencias para su conducción de colonias, sin embargo que por real orden está prohibida la introducción por otra mano que por la Compañía de Filipinas; pero ésta no ha podido dar abasto a tanto como se le ha concedido, y hasta desgracia es de este reino que de gozar o no gozar del privilegio a su arbitrio la Compañía penda la introducción de un género de primera necesidad para su fomento, cuando debería concederse todo género de franquicias, que es lo que ha hecho prosperar tanto las colonias extranjeras. El año de 1778 había en toda la extensión del reino de ambos sexos 69.526 esclavos, que aunque se quisiera duplicar la partida de entonces acá, no podríamos entrar en comparación con sola la isla de Jamaica, en que existían el año próximo pasado 217.584 negros, ni menos en la colonia de Santo Domingo Francés, en que había el año 1787 304.937 destinados todos a la agricultura.

CAPITULO QUINTO. DEL COMERCIO

A — Comercio de Quito

Situado el reino de Quito a inmensa distancia de los pueblos del norte, no ha podido tener más extracciones que la de quina, por los del sur, que, como producción exclusiva hasta la invención de la de Santafé, siempre ha tenido el precio que se le ha querido dar, pudiendo por consiguiente sufrir todos los costos de su larga ruta, y la del cacao de Guayaquil para Guatemala y Nueva España, por las costas del sur la mayor parte; pero no sucediendo lo mismo con los demás frutos, ni teniendo minas de mayor consideración que beneficiar, ha sido consecuencia natural de estas circunstancias su aplicación a las manufacturas, con que se extrae el dinero de las provincias sus confinantes, para su subsistencia y satisfacción de los géneros de Europa que le entran por Lima.

(*) Modalidad errónea de expresar un posible ahorro en los costos.

Consistía este comercio, en tiempo que se hacía el de América por galeones, en paños bastos, lienzos de algodón, bayetas, jergas, trencillas y otras manufacturas de menos consideración, y se computaba valer más de millón y medio de pesos. Pero con el nuevo aspecto que recibió el comercio después de aquella época, y el que últimamente ha tomado con el comercio libre, ha decaído, en términos que en el día sólo se cree podrá llegar a 600.000 pesos, cantidad corta para las provincias de Quito pero que aún sería mejor se la proporcionasen por la agricultura y minas más conforme al instituto de las colonias. La falta de estos dos poderosos renglones, a que deben su subsistencia todas las provincias de América, constituye a las de Quito de una naturaleza singular, y que pide gran pulso y meditación en las provincias del Gobierno, para evitar el que repentinamente se las prive de los medios de subsistencia o se perpetúen las manufacturas que debe recibir de la metrópoli.

Para excusar ambos extremos no hay más recurso que el de las minas, en cuya exploración debe ponerse todo empeño, y el de la extracción de primeras materias para Europa. Ninguna provincia, pues, necesita de más fomento de la agricultura, y de mayor facilidad y comodidad de caminos, que las de Quito, para que puedan llegar sus frutos a los puertos del norte, a lo menos con los mismos costos que los de las provincias inmediatas a la costa.

8. RELACION DEL ESTADO DEL VIRREINATO DE NUEVA GRANADA DIRIGIDA POR FRANCISCO GIL Y LEMOS A SU SUCESOR JOSE DE EZPELETA (1789)

Excmo. Señor:

La corta mansión que he hecho en el Virreinato, apenas me ha dado tiempo para atender a lo más urgente; y la entrega de mi antecesor es la misma que paso a V. E., añadiendo únicamente las disposiciones dadas por mí después que entré en el mando, para que con presencia de uno y otro pueda V. E. continuar lo que estime más conveniente. Este era el estado del Virreinato; y mis disposiciones las que siguen.

REFORMA DE GASTOS

A — Supresión de gratificaciones

Con la idea de restablecer las rentas del rey por medio de una prudente economía suspendí por una orden general toda gratificación no aprobada, y dándose S. M. por bien servido de esta providencia, en real orden de 2 de abril último me previene extienda la reforma a los empleos y asignaciones aprobadas, proponiendo los que puedan suprimirse, lo que no he tenido tiempo de hacer, y queda

B — Camino de Quito a Barbacoas

Dos caminos hay proyectados en Quito: el uno es desde esta ciudad a Barbacoas, por cuyo medio se conseguía dar salida a los copiosísimos frutos de las provincias de Villa de Ibarra y Otavalo y socorrer la carestía de víveres de Palma Real, Toña, Cayapas, Tumaco, Barbacoas, Iscuandé y Chocó, que por falta de víveres no pueden prosperar sus ricas minas. Se ha estado trabajando en este camino, y en el día deben hallarse muy adelantados, según lo que me tiene informado aquel presidente.

Tal es el estado del Nuevo Reino de Granada, y estas mis providencias y operaciones durante mi gobierno en él. V. E. con sus conocidos talentos y penetración, sabrá rectificarlas y corregir mis yerros. No he tenido a la vista sino el servicio de Dios, del Rey y de la nación. Por lo demás, si V. E. desea más individuales noticias que las que he podido comprender en este informe, podrá dárselas su secretario Don Zenón Alonso, que se halla plenamente instruido en los negocios del reino, y el oficial segundo de la secretaría, Don Ignacio Caveró, a quien por su aplicación encargué entendiéndose la presente Relación.

Nuestro Señor guarde la vida de V. E. muchos años.

Turbaco, 20 de febrero de 1789.

Antonio Caballero y Góngora.

Excmo. Sr. Frey D. Francisco Gil de Lemos.

por consiguiente remitida al prudente celo de V. E. esta operación interesante.

B — Suspensión y continuación de las minas

Por la misma razón mandé suspender el trabajo de las minas de plata de la provincia de Mariquita hasta que personalmente pasé a reconocerlas, y del examen que hice y ensayo que presencié quedé persuadido de que así por el poco costo con que se saca el mineral como por la facilidad y ahorro del nuevo método de amalgamar del Barón de Born, y por el talento y actividad del director, promete esta empresa no sólo reembolsar lo que se gaste, sino también adelantamientos considerables para el reino. Últimamente, según lo que ha expuesto el director de resultas de los ensayos que ha hecho, se sabe lo que promete cada una de las minas abiertas, y con más seguridad de su utilidad. He representado a S. M. el asunto como el único recurso con que aquí puede aspirarse a satisfacer los empeños de la Real Hacienda.

C — Conclusión

Lo que resulta de lo que hasta aquí he expuesto en cumplimiento de lo que la ley me previene es una absoluta e indispensable necesidad de examinar el estado en que se hallan aquí las rentas del rey, fijar su legítima distribución, cortar los fraudes que cometen los recaudadores, castigar con severidad las vejaciones que hagan al pueblo, abolir todo gasto que no sea de la mayor necesidad, entablar la más estrecha economía, atender por medio de ella al pago de las deudas atrasadas, dispensarse de contraer otras, arreglar la población para que se fije y civilice, proporcionarle los medios de aumentar su agricultura y comercio para que tenga qué guardar y qué poder perder, y de este modo se conseguirá lo que con las armas sería inasequible. He hecho presentes a S. M. estas ideas, le he representado con exactitud mis disposiciones, y he

9. **APUNTES RESERVADOS PARTICULARES Y GENERALES DEL ESTADO ACTUAL DEL VIRREINATO DE SANTAFE DE BOGOTA, FORMADOS POR UN CURIOSO Y CELOSO DEL BIEN DEL ESTADO, QUE HA MANEJADO LOS NEGOCIOS DEL REINO MUCHOS AÑOS, PARA AUXILIAR A LA MEMORIA EN LOS CASOS OCURRENTES Y TENER UNA IDEA SUCINTA DE LOS PASADOS, DE MODO QUE PUEDAN FORMARSE SOBRE ELLOS ALGUNOS CALCULOS Y JUICIOS POLITICOS, QUE SE DIRIJAN, CONOCIENDO SUS MALES PUBLICOS, A IR APLICANDOLES OPORTUNA Y DISCRETAMENTE LOS REMEDIOS CONVENIENTES POR LOS ENCARGADOS DE SU GOBIERNO, POR FRANCISCO SILVESTRE (1789)**

CAPITULO CUARTO

Gobiernos que le están sujetos [al Virreinato], comenzando por el de Quito, sus tribunales, producciones, comercio y límites

11. Mainas. Se reconoció en él oro desde su descubrimiento y no pueden faltar éste y los demás metales en toda su extensión, así como se producen en la de Macas y Jaén de Bracamoros, el algodón y cacao silvestre.
18. Yaguarzongo. Hay minas de oro y plata que están abandonadas o se trabajan muy poco.
19. Quijos, Canelos y Macas. Abundan en minas de oro, que no se trabajan, aunque en otro tiempo el mucho que se sacaban dio nombre a Sevilla del Oro, donde hubo cajas reales, que se trasladaron a Cuenca.

CAPITULO QUINTO**Corregimientos**

Los corregimientos son:

20. El de Quito. En el distrito de su corregimiento y de los otros de su comprensión no faltan minas de oro y de plata y con mayor inmediación en el de Tacunga; pero no se trabajan aunque en el tiempo del presidente Pizarro parece que se restableció su labor en Latacunga, que no sé qué efectos habrá tenido. Convendría mucho fomen-

tenido la satisfacción de haber acertado con las reales intenciones, habiendo conseguido ya aprobación de la mayor parte de mis providencias, y que se me confieran nuevas facultades y reglas para las ulteriores reformas y mejoras que necesita esta preciosa aunque poco atendida porción de los dominios del rey.

Tal es la penosa pero feliz ocupación que le queda a V. E. en la que su talento, aplicación y celo proporcionarán todas las ventajas que el rey desea y el reino necesita.

Nuestro Señor guarde a V. E. muchos años.

Santafé, 31 de julio de 1789.

Excmo. Sr. Fr. Francisco Gil y Lemos.

Excmo. Señor D. José de Ezpeleta.

tarlas con formalidad, y alguna de cuenta de la Real Hacienda, pues sobran indios y bastimentos baratos y no es su trabajo tan gravoso como se exagera, y que en otros parajes no lo hagan, y abracen voluntariamente los libres que comen de él y los mismos indios, que, como en Antioquia y en el Chocó se dedican a otros más rudos, como son el de cargar como bestias, aunque se les prohiba.

21. San Miguel de Ibarra. En lo general concurren las mismas circunstancias que en Quito y en los demás corregimientos de su distrito en cuanto a minas, frutos y comercio.

24. Riobamba. Tiene minas de oro y plata que no se trabajan. En tiempos del Sr. Cerda se entabló una de plata en el cerro de Condorasto, que creo se abandonó luego. Linda con el corregimiento de Latacunga, el de Chimbo y Cuenca.

CAPITULO SEXTO

Gobiernos y corregimientos que hay en el distrito de la Audiencia de Santafé. Su extensión, población y variaciones

28. No se cuenta el de los llanos de San Juan y San Martín, para donde no se nombra gobernador particular, ni hay padrón; sólo subsiste la ciudad de San Martín a

cinco o seis días de la capital de Santafé [...]. No faltan minas, aunque no se trabajan [...]. Fue por dichos llanos por donde se hizo e intentó varias veces el descubrimiento del Dorado, más producción del engaño y de los deseos de la avaricia que de la existencia, cuyo crédito saborea todavía a los codiciosos, a pesar de los tristes y los trágicos desengaños de los primeros que lo intentaron. Si se sacara el oro y plata que cubren sus ricas minas, y mejor si se pudieran aprovechar las ricas abundantes producciones de la naturaleza en su terreno, no hay duda de que pudiera haber no sólo un Dorado, sino muchos montes de oro. Pero como es delirio aún el pensarlo, como se pintó y creyó en los principios de la conquista, en las circunstancias actuales es menester dejar estas ideas para los poetas que fingen como quieren.

CAPITULO SEPTIMO**Gobiernos que le están sujetos**

32. Los gobiernos son trece y un corregimiento. El primero y principal es Santafé.

34. [Partidos de Zipaquirá, Ubaté, Sogamoso y el de Guaduas]. No faltan minas de oro y de plata en su territorio, aunque ninguna se trabaja. De cobre se está emprendiendo la labor de una en Villeta, que si el Rey la auxiliase, produciría mucho y según se me ha asegurado saldría el quintal por tres pesos y un real y en proporción el poderse conducir por agua desde Honda hasta Cartagena, Santa Marta y España [...]. Tiene abundantes y copiosas salinas en Zipaquirá, Nemocón, Tausa y otras partes, que convendría se administrasen todas de cuenta de la Real Hacienda, bajo de ciertos conocimientos y prevenciones y siempre que se trate de arreglar y reformar la administración de la Real Hacienda, conciliando el beneficio del erario con el bien de los vasallos, tomando las cosas en su raíz, que es lo que saben pocos, por falta de reflexiones y combinaciones prudentes.

383. Portobelo. En las minas de Santa Rita parece se saca algún poco de oro corrido.

39. Darién. Tiene minas de oro que la hicieron famosa en su descubrimiento, hasta fingir que se pescaba con redes. Pero se trabajaron muy poco y en el día apenas se trabajaba una, sin duda por su despoblación y los repetidos asaltos de los indios. Su situación es de las más ventajosas, y es fortuna que los enemigos de la corona, particularmente los ingleses, no hayan pensado en establecerse con empeño en ella, pues con su posesión se habrían hecho desde luego dueños de ambos mares y después sin mucha dificultad de las minas del Chocó y Antioquia, y con el comercio clandestino de todo el de Tierra Firme.

40. Chocó [...] hay muchos minerales de oro corrido [...] el principal fuerte es el de las minas de oro co-

rrido, que se trabajan con cuadrillas de esclavos. Para mantener éstas, las carnes y demás víveres y géneros, le entran de las provincias de afuera. En el día [...] está abierta la comunicación de Cartagena por el río de Atrato [...] es muy útil hasta para el comercio con Quito, pues D. Miguel Gijón llegó a aquella ciudad con sus cargas en 30 ó 32 días desde la plaza de Cartagena [...] mientras no esté asegurado el Darién y resguardadas las Bocas del Atrato, en cuyo golfo desemboca, tampoco lo estarán las provincias del Chocó de los insultos de los enemigos de la corona, ni dejarán de extraerse la mayor parte de los oros que produzcan aquellas provincias. En ellas se ha encontrado con mayor abundancia que en alguna otra parte del mundo la platina, metal que se ha hecho famoso y apreciable de algunos días a esta parte, que se ha descubierto el modo de fundirlo, que se tenía antes por imposible, y obligaba a arrojarla, y aún añadía el trabajo de separarla del oro que se saca mezclada. Sin embargo, sólo se paga a dos pesos libra de cuenta del rey. Para fomentar su saca y la de las minas se formó un proyecto en el actual gobierno de introducir negros de cuenta de la Real Hacienda para venderlos a los mineros, en que se gastará mucho, y adelantará nada, por haberse procedido en él con falta de inteligencia y de conocimiento. Para su ejecución fue comisionado el Sr. fiscal Yáñez. También providenció sobre que se rescatase el oro en polvo de cuenta de la Real Hacienda, pagando el castellano a 17 reales en lugar de a 16 a como corre, y parece no falta quien piense que se mande y haga lo mismo en todas las cajas minerales. Si se reduce a efecto este pensamiento serviría para atrasar en lugar de fomentar las minas y mineros; para minorar los dineros de quintos y monedación; para quitar este ramo de comercio para la extracción de oros; y para otros mil daños, que sólo comprende quien tiene de este rescate el verdadero conocimiento [...]. Aunque tiene la provincia porción de ríos, que se navegan, es falta de aguas para trabajar las minas en lo interior, aunque ricas y abundantes. No se sabe que haya en ellas descubiertas minas de veta de oro o plata. Pero no pueden menos de haberlas, como las hay en la provincia de Antioquia, con quien linda y las debe haber donde las haya de oros corridos [...]. Aunque para fomentar las minas conviniere aumentar el número de esclavos, sería falta de política atendiendo el corto número de blancos. Porque si se levantaban los indios, se les unirían tal vez los esclavos para no serlo, sin poderlos contrarrestar los otros libres y blancos, que no alcanzan a la tercera parte; y sin los negros, no había que contar con los indios, que se irían a los montes.

41. Neiva. Abunda en minas de oro, que por lo mismo se trabajan poco.

43. San Juan Girón. Tiene minas de oro que apenas se trabajan por mazamorreros.

44. Santa Marta. Abunda en ganado vacuno, que se extrae para la provincia de Cartagena, con carnes saladas,

quesos y velas de sebo, que se llevan a las tierras de oro [...]. En el pueblo de la Ciénaga, junto a Santa Marta, se hace mucha sal de mar, de que provee toda la provincia de Cartagena [...]. No le faltan minas de oro y otros metales, ni tampoco pórfidos y jaspes y otras piedras exquisitas, según la constante tradición desde el tiempo de su conquista, y otras noticias particulares de la Sierra Nevada. En Ocaña, que es de su jurisdicción, se tejen algunos lienzos, se hace algún azúcar, panela, que es menos que aquella, se coge cacao y siembra algún trigo que se extrae para Mompós y minerales de tierra de oro [...]. Se trabajan también minas de cobre, que allí y en las demás partes de la provincia convendría fomentar para los fines que en otra parte se tocan.

46. Cartagena. No se duda de que en los mismos parajes las habrá también de plata, cobre y otros metales. Pero donde ciertamente las hay muy ricas de oro, y sin trabarse, es hacia las cabeceras o nacimientos de los ríos San Jorge, Sinú, de León y de otros que se descuelgan de la cordillera de Urama en las provincias de Antioquía y el Chocó, que desaguan en los ríos Cauca, Sinú y golfo del Darién en la costa de Urabá.

47. Antioquía. Lo que más sobresale en ella y se trabaja son los minerales de oro corrido, o en polvo, y es la de donde sale la mayor porción de este metal, que reducido a moneda, corre en el reino y sale para España. Las minas de veta de oro, aunque abundan, no se trabajan. Lo mismo sucede a las de plata, despreciándose las de los otros metales y semiminerales, en que faltan los de cinabrio o azogue, ni tampoco algunas piedras preciosas. Sobre esta provincia, como la he reconocido y corrido por mí mismo, tengo formados dos papeles de los cuales el primero se halla en la secretaría y el segundo, aunque lo principié a impulso del gobierno superior, no lo he concluido, viendo que en lugar de premio, al propio tiempo que se aprovechan otros de mis desvelos, celo y trabajo me llenan de injurias, de agravios e injusticias. En ellos consta por menor cuánto conviene al Estado su fomento (siendo entre muchos uno de los medios que promoví ante el virrey, antes de posesionarse de su gobierno, la introducción de moneda sellada, que no corría, y otro el que se erigiese en ella obispado) aunque era una provincia de que no se hacía caso, ni cuyo valor se conocía, hasta que en tiempo del Sr. Guirior, serví su gobierno interinamente; entonces producía apenas a la Real Hacienda de 50 a 60.000 pesos, y ahora en el día le produce cerca de 200.000, fuera de más de 500.000 que cada año salen de ellas para el comercio.

48. Mariquita. Mas en lo que igualmente abunda y sobresale es en minas de oro y plata, cobre, cinabrio, de que se extrae el azogue, piedra imán y otras especies. De las primeras de oro corrido donde más se trabajan es en el sitio del Chaparral, Ibagué y otros sitios a orillas de la Magdalena o ríos que desaguan a él, como el Saldaña, etc. De las de cobre se trabajan algunas en Ibagué, aunque

no en tanta cantidad que este género abunde y abarate para su conducción a España, porque de ordinario los emprendedores no tienen facultades para adelantar las labores. Las de plata abundan y han sido famosas desde su conquista, pero se abandonó su labor luego que fueron enriqueciendo los que las principiaron y trasladándose a otra parte y haciéndose más dificultosas las empresas para que no alcanzasen los fondos de los que quedaron, con cuyo motivo se fue también olvidando el beneficio de metales. Ultimamente a influjos de don José Mutis, y propuesta del señor de Góngora se ha emprendido su labor de cuenta de la Real Hacienda (único medio por ahora de llevarlas a efecto) viniendo don Juan José D'Elhúyar de director y varios alemanes. Por el primero se aseguran buenas y muchas ventajas por el método del nuevo beneficio. Si corresponden las esperanzas, será medio para que se formen compañías de particulares con que se emprendan nuevos trabajos y se hará conocer, fomentándolo cuan rico es un reino que hasta ahora ha hecho el papel del más mísero y pobre de las Américas, especialmente si el rey en iguales términos emprende el trabajo de su cuenta de las famosas vetas y minas de oro de que abunda la provincia de Antioquía, en Buriticá, Titaribíes y otras muchas partes de ella. Sin embargo de que su extensión es dilatada, y de que lo era más antes que en el tiempo del señor Cerda, se agregasen a la provincia de Antioquía las jurisdicciones de Remedios, que la (comprendían, digo) correspondían.

CAPITULO OCTAVO

Tunja, Corregimiento

49. Tunja. En este corregimiento se comprende la ciudad de Muzo, donde se sacan las esmeraldas, aunque en corta porción, desde que de orden de S. M. se ha reducido a que sólo se trabajen las minas de cuenta de la Real Hacienda. Las hay también en Somondoco y en el territorio de Ubaté, aunque no se trabajan [...]. En su jurisdicción no faltan minas de oro y plata, aunque ninguna se trabaja, así como las hay de cobre y plomo, aunque medio abandonadas por falta de fomento en los que las trabajan.

50. En su jurisdicción se comprende la alcaldía mayor de las vetas de Pamplona y Bucaramanga. Estas vetas que eran de oro y plata y en que hay también minas de oro corrido, o en polvo, fueron célebres en otro tiempo en que se trabajaron, pero hace mucho que están abandonadas. En el del gobierno del Sr. Cerda se formó una compañía en que tomó parte con otros de los de su casa para trabajarlas, y se hicieron venir mineros de Lima, costeados de cuenta de la Real Hacienda, que salieron maulas [que fueron un fraude]. Se gastaron más de 22.000 pesos. Y se abandonó luego la empresa. Salda bien la de Mariquita convendría fomentar también éstas de cuenta del rey, pues experimentándose los buenos efectos podrían

de los vecinos de Pamplona y otras partes inmediatas, donde hay algunos acomodados, promoverse y fomentarse compañías que emprendiesen otras labores, lo que por falta de caudales no podrá conseguirse de otro modo.

CAPITULO DECIMO

Total de su población y reflexiones sobre ella

83. El decir que el trabajo de las minas y otros en los que empleaban los españoles los ha consumido es un delirio para el que tiene conocimiento de lo que es aquel exagerado trabajo; lo poco que en él se apura el indio, por más que lo apuren; y que más trabajan y sacaban de ellos los mismos españoles trabajando por sí y los negros que fueron en aquel tiempo introduciendo, en un año, que los indios en ciento, aunque en centuplicado número.

CAPITULO DUODECIMO

Erección del Virreinato de Santafé y virreyes que lo han mandado hasta ahora

175 [Sobre colonos establecidos en el Darién]. Acaso ya cometido el yerro, y en el supuesto de que a los de contraria religión no conviene en manera alguna dejarlos en el reino, y sí que se les restituya a sus domicilios de cuenta de Real Hacienda, guardándoles la buena fe y de cuya falta se quejan por la violencia que dicen se les ha hecho de aplicarlos por fuerza a servir en las armas, cuando sólo se contrataron para pobladores y labradores de las tierras del Darién, que se les poblase en las inmediaciones de las minas de plata, que se benefician de cuenta de la Real Hacienda en Mariquita, pues estando en lo interior del reino, y muy distantes de la costa, mezclados con otras familias del país, pudieran ser útiles con el tiempo ellos o sus hijos, ya movidos por la codicia a trabajar las minas o ya urgidos por la necesidad a labrar las tierras y utilizar las diversas clases de frutos que ofrece su fértil terreno.

187. También ha promovido [el virrey Antonio Caballero y Góngora] que se trabaje de la real cuenta, que es el único medio de lograrlo, las famosas minas de plata de Mariquita, para que han venido mineros de España y que si, como general y fundamentalmente se espera, producen buen efecto y breve se restablecerá aquella provincia y florecerá en este ramo principal el reino, lo que se multiplicaría en sumo grado si puesto en planta el beneficio

de éstas se hiciese lo mismo en las de vetas de oro, a más del corrido, que abundan y hay descubiertas y conocidas en la provincia de Antioquía y otras.

CAPITULO DECIMOTERCERO

Remedios oportunos que necesita [el Virreinato] para sanar de sus males políticos

197. El trabajar algunas minas de oro y plata de cuenta del rey es verdaderamente útil, como el fomentar las de cobre, y permitir que como mazamorreros se trabajen también por particulares en Muzo y otras partes las de esmeraldas.

CAPITULO DECIMOCUARTO

Conclusión y advertencia

Aunque en una u otra especie de cuantas noticias se contienen en estos apuntes (y no deben parecer notables algunas en particular, por lo que importa para curar los males políticos, conocer sus vicios o síntomas, sin embargo de omitirse muchos casos singulares, y que por irregulares parecen increíbles) puede hallarse alguna equivocada o alterada por las circunstancias, o por la variación del tiempo, como que no he tenido a la vista otros documentos que los padrones aunque defectuosos de algunos años anteriores al presente y faltos otros, porque todo lo demás lo he ido acordando y sacando de la memoria, que es el almacén general donde yacen depositados los conocimientos que he adquirido del reino con la continua lección, la observación de las gentes que lo habitan, la curiosidad de preguntar sin pudor a quien ha podido facilitarme algunas luces de lo que deseaba saber de cada lugar y provincia, para mejor comprenderlos, y con la práctica y manejo de los negocios de él por más de 25 años. Desde luego vivo persuadido a que no será en cosa muy sustancial o que discrepe de la verdad, como también que si fuere necesario aclarar o analizar muchos puntos, que sólo se tocan de paso, no sería difícil verificarlo con igual precisión y claridad que estos apuntes, aún cuando fuera forzoso, como convendría, hacer para cada uno un discurso separado, especialmente en orden a los medios y modo de curar o aliviar cuando menos los males políticos que padece este Virreinato.

Santafé, 9 de diciembre de 1789.

Francisco Silvestre.

10. **RELACION DEL GOBIERNO DE JOSE DE EZPELETA, ETC., EN ESTE NUEVO REINO DE GRANADA CON EXPRESION DE SU ACTUAL ESTADO EN LOS DIVERSOS RAMOS QUE ABRAZA, DE LO QUE QUEDA POR HACER Y DE LO QUE PUEDE ADELANTARSE EN CADA UNO. FORMADA EN CUMPLIMIENTO DE LO DISPUESTO POR LAS LEYES DE INDIAS PARA ENTREGAR A PEDRO MENDINUETA, ELECTO VIRREY GOBERNADOR Y CAPITAN GENERAL DE DICHO REINO (1796)**

Introducción

Excmo. Señor:

Por la Ley 24 del Título 3.º, Libro 3.º de la Recopilación de Indias se previene a los virreyes que cuando acabaren de servir sus cargos entreguen a sus sucesores una copiosa relación del que en cada punto y caso particular de su gobierno estuviese hecho o quedare por hacer, que les sirva de instrucción, y sobre todo dé su parecer, de forma que el sucesor quede capaz y con la claridad que importa al acierto de las materias de su cargo.

Hallándome ya en el caso de dar el debido cumplimiento a esta sabia disposición, después de haber servido por más de siete años el Virreinato de este reino, tengo por una circunstancia feliz para mi desempeño en esta última función de mi cargo la de hablar con un sucesor ilustrado, que sabrá rectificar estos apuntamientos, deducidos de lo más importante que ha ocurrido en las diversas materias sujetas al conocimiento y autoridad que he ejercido en el tiempo de mi mando.

Proposición y División

Las representaciones del vicepatronato real, de gobernador, de superintendente general de Real Hacienda y de capitán general, reunidas al cargo de virrey, hacen tan necesaria como oportuna la división de las materias que comprenderá esta Relación. Por tanto, me propongo tratar primeramente del estado eclesiástico, después del gobierno y administración de justicia, luego de la Real Hacienda y últimamente de todo lo relativo a guerra y marina, haciendo en cada una de estas cuatro partes las subdivisiones que exijan los diversos ramos que abrazan respectivamente.

**PARTE SEGUNDA
DEL GOBIERNO Y ADMINISTRACION DE JUSTICIA**

CAPITULO CUARTO. DE LAS MINAS

A — Minas de oro

Casi en todo el reino se encuentran minas de oro corrido, más o menos abundantes de este precioso metal. Las de la provincia de Antioquía producen mucho y las del Chocó son todavía más ricas. El oro que se saca de las de Girón es el de mayor ley, pues llega a 23 quilates tres cuartos de grano, según consta por su ensayo, que conservo en mi poder por curiosidad.

B — Lavaderos

Las grandes minas de oro se trabajan por sus propietarios con esclavos, cuyo número es proporcionado a sus facultades. Las demás son propiamente unos pequeños lavaderos, en los que varias gentes se emplean personalmente en buscar el metal para satisfacer a sus necesidades.

C — Protección concedida a las minas

Consideradas las minas como un recurso para la prosperidad y fomento del reino, están muy recomendadas por las leyes y en ellas, como en varias disposiciones posteriores, se han dispensado ciertas gracias y franquicias a los mineros.

D — Auxilios a los mineros

Entre éstos es digna de la piedad de S. M. la rebaja que se les ha concedido en el derecho que deben satisfacer y el mayor precio a que se paga el marco de oro en las Casas de Moneda de esta capital y de Popayán, respecto del establecido por ordenanza. Este aumento y aquella rebaja son de continuarse y perpetuarse, porque mientras sea mayor la utilidad del minero más se empeñará en el laboreo de las minas y tendrá este ramo más empresarios.

E — Introducción de negros con relación a las minas

Otro de los auxilios que se ha querido facilitar a los mineros ha sido el de brazos por medio del libre comercio e introducción de negros, de que trataré luego, y dejando para entonces los perjudiciales efectos que ha producido esta franquicia, no debo callar que la minería no ha podido aprovecharse de ella. Así resulta justificado de las diligencias que practiqué para averiguar esta verdad, que yo sabía de antemano.

F — No ha surtido efecto

[...] y ya sea porque los negros llegan caros a las provincias en que se benefician las minas o porque en ellas no faltan en realidad brazos proporcionados en número a lo que puede emprenderse, o porque los mineros no se haqan con fondos para comprarlos, que es lo más cierto, se llegó a comprobar que en un año contando desde la publicación de la real cédula de 24 de noviembre de 1791,

permisiva de dicho comercio, sólo se habían introducido 29 negros en la provincia de Antioquía, en donde se vendieron a largos plazos, y que en las de Popayán y Chocó, en donde hay número de minas, no se introdujo ni uno solo.

G — Porque no se necesitan, ni hay fondos para comprarlos

Es visto pues que o no hay necesidad de negros para la minería o que los mineros no pueden adquirirlos, y yo creo que uno y otro se verifica. Pero si al mismo tiempo que esto sucedía se hubiese preguntado a los habitantes de aquellas provincias y aún a los jefes de ellas si convendría continuar la franqueza de este comercio, hubieran respondido que sí, fundando la afirmación nada menos que en las esperanzas del incremento que por este medio lograría el laboreo de las minas. Sin embargo, no habría una proposición más aventurada ni destituida de fundamento, porque aunque todos sabemos que 20 ó 30 millones de habitantes más en las Américas harían en ellas una colonia opulenta, nadie sabe cómo podría adquirirse esta porción de individuos, por más que se lisonjearse representándose la utilidad que resultaría de este aumento en la población. Así respectivamente no hay quien dude que 20 ó 30.000 negros destinados a las minas pueden hacerlas prosperar mucho, y la imaginación empleada en calcular los progresos de este prodigioso número de brazos, destinados a extraer el oro de entre la tierra, no se ocupa un momento en examinar cómo podrán lograrse, porque poco importa que los haya en Africa o más inmediatos en las colonias extranjeras vecinas, si no hay dentro del reino dinero para comprarlos.

H — Se confirma todo lo dicho

Cuando he dicho que creo no haber necesidad de negros para las minas he querido dar a entender la que tendría un sujeto o compañía que hallándose en una rica mina con deseos de trabajarla y con caudales para ello no pudiese hacerlo por no encontrar brazos y estarle cerrada la puerta para adquirirlos. Y en estos términos es tan cierta aquella proposición, como lo acreditan los hechos y el expediente que yo instruí para echarle un sello a esta aserción, corroborada todavía más con otro hecho, y es el de que por el año de 1794 aún no se habían pagado los negros que en el año de 1788 llevó el fiscal D. Antonio de Vicente Yáñez, Visitador del Chocó, a aquella provincia, para expenderlos de cuenta de Real Hacienda, como lo verificó dándolos al fiado. Y si esto sucede con los esclavos que vendió el fisco, no sé yo que los particulares que los llevasen de su cuenta pudiesen prometerse mejor suerte. Todo esto y algo más hice presente a S. M. y ahora no ha sido inoportuno el repetirlo porque no sería extraño que llegase el caso de hacer uso de estas noticias.

I — Aumento de las minas. Oro acuñado en Santafé

Entretanto prosperan las minas con sus actuales recursos, y habiendo ascendido la acuñación en la Casa de Moneda de esta capital desde el año de 1789 hasta el de 1795, ambos inclusive, a 60.013 marcos, que produjeron 8.161.862 pesos, omisos quebrados resultan por año común 8.573 marcos, cuyo valor es de 1.165.980 pesos, cantidades que exceden en mucho a las de un centenio anterior, aunque por año común se tomase el de 1787, que fue el más abundante, en que se acuñaron 7.218 marcos que dieron en moneda 981.655 pesos.

J — Oro acuñado en Popayán

En la Casa de Moneda de Popayán se han acuñado en igual número de años, desde el de 1788 a 1794, 47.813 marcos de oro, cuyo valor es el de 6.502.542 pesos, que reducidos a año común dan 6.830 marcos y 928.934 pesos en cada uno.

K — Aumento en la extracción de oro en pasta o barras

No se han aumentado mucho las acuñaciones, y por consiguiente ni los productos de las minas, según estos datos, pero sobre resultar de ellos que no dejan de tener algún incremento, lo que podría averiguarse si se comparasen con los de un centenio anterior, pues en el año de 1778 no se amonedaron más que 5.829 marcos, y poco más en los siguientes hasta el de 1783 inclusive, es cosa constante que la franca navegación del río Atrato y el comercio que por esta vía se ha abierto directamente con Cartagena ha causado la extracción de algunos oros en pasta del Chocó, que por esta razón no han entrado a amonedarse en la Casa de Popayán.

L — Datos que la confirman

Esto se confirma con la misma exportación de oros en pasta verificada por el puerto de Cartagena, pues habiéndose regulado en el año de 1789, que podía ascender a 200.000 pesos incluso el valor de las alhajas, y esto por un cálculo prudencial, por otro exacto resulta que en el de 1793 se exportaron por el valor de 302.216 en barras de oro, sin contar el de las alhajas de esta especie. En este último año (1793) se publicó aquí por el mes de junio la declaración de la guerra contra Francia, lo que acredita que esta exportación fue hecha en los primeros seis meses, porque después se interrumpió el giro del comercio, y hasta el siguiente año de 1794 no hubo ocasión segura de registro de caudales para la Metrópoli. De la extracción hecha en 1794 no se tiene noticia, pero sí de la de 1795, en cantidad de cerca de 150.000 castellanos de oro, ó 300.000 pesos y es probable que en los años anteriores a la publicación de la guerra fuese mayor.

M — Fondo de rescate proyectado

Para aumentar las acuñaciones en las Casa de Moneda e impedir la extracción de oros sin amonedar se ha propuesto a S. M. el establecimiento de un fondo de rescate en Cartagena por cuenta de su Real Hacienda, sobre que se mandó informar y lo ejecuté con testimonio del expediente obrado en el asunto, que así como tiene sus utilidades padece también inconvenientes y pende de la real determinación.

N — Minas de plata

De la antigua abundancia o riqueza de las minas de plata de este reino se ha hablado siempre, por tradición, con elogio y encarecimiento. Sin embargo, es cosa constante que se ha perdido hasta la memoria de los que hicieron su fortuna en ellas, y que no es fácil hallar vestigios de su ponderada opulencia.

O — Parajes en donde las hay

Para mi intento basta decir que hay minas de plata en Cuenca, Popayán, en Pamplona, Ibagué y Mariquita, y que no dudo las haya en otras partes del reino.

P — Las de Cuenca

Los pocos sujetos que se han dedicado a beneficiar las de Cuenca pudieran tal vez haber tenido algún auxilio en las luces de un inteligente que S. M. había destinado a la jurisdicción de la presidencia de Quito, pero éste falleció en La Coruña al tiempo de embarcarse, y no sé si se tratará de reemplazarle. Aquellos mineros han solicitado algunas condonaciones en los derechos que corresponden al fisco y pareciéndome su instancia digna de atención, le recomendé a S. M., a cuya soberanía toca la dispensación de estas gracias.

Q — Las de Popayán

Para las minas de Popayán se ha formado una Compañía con el título de Minas y Planificaciones Industriales. Esta dirigió sus trabajos a los minerales de Almaguer, que últimamente ha abandonado por la de Quiebralomo, en donde cree sacará más fruto. Goza algunas exenciones, que S. M. la ha concedido, y por parte de este superior gobierno se la ha franqueado uno de los mineros alemanes que fueron destinados a las de Mariquita, y no haciendo falta en ellas no ha habido reparo en que vayan a auxiliar con sus conocimientos las operaciones de esta Compañía.

R — La de Pamplona

Otra igual asociación ha emprendido con el mismo auxilio de un minero alemán el laboreo de las de Pamplona, en donde, según las últimas noticias, se trata ya de dar principio a las máquinas para la oficina de beneficios.

S — Las del Sapo

Las de Ibagué, descubiertas en el paraje conocido con el nombre del Sapo, pertenecen a dos o tres sujetos que las heredaron de un vecino de esta capital, con el encargo de que continuasen la empresa que él había comenzado y no pudo perfeccionar. Estoy informado de que se hallan en estado de concluir las máquinas y por mi parte las he auxiliado con lo que han pedido.

T — Las de Mariquita por cuenta de la Real Hacienda. Sus productos y gastos

Las de Mariquita, que se reputaban por las más ricas, se comenzaron a trabajar en cuatro puntos o vetas, desde el año de 1785, por cuenta de la Real Hacienda; se concluyeron tiempo hace las máquinas; se beneficiaron algunas porciones de mineral, que por fin de abril de este año había producido 3.405 marcos 7 onzas 5 1/2 ochavos, ó 27.247 pesos 5 1/2 reales, y a la misma fecha se llevaban gastados 232.641 pesos 1/4 real, reducidos ya los trabajos en virtud de real orden a solas las dos minas de Manta y Santa Ana, y abandonadas las del Cristo y Lojas por poco productoras.

U — Auxilios para su laboreo

A esta empresa fueron destinados por el Sr. Arzobispo-virrey los profesores de mineralogía D. Juan José D'Elhúyar, que falleció aquí pocos meses hace, y D. Angel Díaz, que con los sueldos de 2.500 pesos el primero y 1.500 el segundo, vinieron de España enviados por S. M. a ayudar con sus útiles conocimientos, práctica y método a los particulares que se hallasen con ánimo o disposición para emprender estos trabajos.

V — Poco adelantamiento que tuvieron

Cuando advertí por las relaciones o estados que cada cuatro meses se me enviaban de dichas minas para dirigirlos a S. M., lo poco que se adelantaban en ellas, y que los productos no alcanzaban, ni con mucha diferencia, a cubrir el gasto anual que se continuaba haciendo sin interrupción, y principalmente cuando vi que uno de los medios que proponía el difunto profesor D'Elhúyar, en consecuencia del informe que le pedí para conseguir algún progreso o para procurarlo, era el de aumentar los gastos

en considerable cantidad, no me detuve en representar a S. M. que en mi concepto eran gravosas y perjudiciales a su Real Hacienda las minas de Mariquita, en el supuesto de trabajarse por cuenta del Erario [...].

W — Se propuso dejarlas a los particulares

[...] que no convenía continuar su laboreo, y que era mejor dejarlas a los particulares o compañías que quisiesen tomarlas a su cargo pagando las máquinas y demás obras a un interés anual correspondiente al capital invertido en ellas, sin asegurar por esto y aun manifestando más bien mi desconfianza de que hubiese compañía ni sujetos que se hallasen con fondos y voluntad de emplearlos en este ramo.

X — Lo aprobó S. M. bajo ciertas condiciones

Las razones en que fundé este concepto constan en mis oficios a la corte y por tanto evitaré la molestia de repetirlos. S. M. accedió a mi propuesta por real orden de 26 de junio de 1795, autorizándome para trasladar la propiedad de todas cuatro minas y sus pertenencias a los particulares o compañías que se presentasen con facultades de seguir su beneficio: En su cumplimiento se han circulado noticias de esta resolución a los lugares adonde ha parecido conveniente y se han fijado carteles para anunciarlo a este público.

Y — No se han presentado quienes quieran beneficiarlas

Todavía no se han presentado empresarios ni es fácil que los haya, según lo insinué anticipadamente; pero como entretanto se continúan trabajando las minas por cuenta de la Real Hacienda, con el gasto anual de 22.000 pesos, sobre los 232.000 y más ya consumidos en ellas, y por otra parte no hay esperanza de ver alguna utilidad, [...]

Z — Última propuesta hecha a la Corte en el asunto

[...] me ha parecido conveniente representar de nuevo a S. M. que para evitar el gravamen sucesivo de su Real Erario y animar a los particulares a entrar en la empresa, no ocurre otro medio que el de cederles graciosamente las minas, ingenios y cuanto hay en ellas, excepto los esclavos, que deberían pagar al contado, o a plazo bajo fianza, sin otra carga que la de obligarse de continuar el laboreo y conservar en su actual estado lo que se les entregase.

AA — No le tiene en cuenta al Erario el continuar esta empresa

Aun de este modo no me he atrevido a afirmar que haya

facilidad de salir de dichas minas, más considerando que el grueso capital invertido en ellas no sólo no produce sino que es gravoso, porque para sacarle algún jugo se necesita gastar 22.000 pesos anuales, a cuya cantidad no puede alcanzar el producto, no me ha parecido que mi proposición pueda reputarse perjudicial a la Real Hacienda, ni lo sería aún cuando las minas fuesen más productoras que lo son en la realidad, porque cualquier utilidad que se sacase de beneficiarlas por cuenta de S. M. se podría reportar con los derechos que contribuirían los particulares, sin necesidad de mantener los empleados y hacer los demás costos que ahora sufre el erario.

AB — Dirección actual de las minas

Como posteriormente ha ocurrido la muerte del Director D. Juan José D'Elhúyar, he dado noticia de ella a S. M. de quedar encargado D. Angel Díaz de la dirección de las minas y de que aunque este sujeto ha solicitado se le nombre director con el sueldo de 2.500 pesos, ni he considerado que el fallecimiento de D'Elhúyar ha causado una vacante efectiva, ni hallo necesidad de reemplazarle, estando pendiente la suerte de aquellas minas, y al mismo tiempo he representado que puede reservarse el nombramiento de un profesor que ayude con sus luces y conocimientos los trabajos de los mineros particulares, para cuando se haga constar la necesidad de este auxilio, y utilidad que de él deba esperarse según los adelantamientos que vaya teniendo este ramo, que por lo respectivo a las minas de plata tiene pocos aficionados en este reino, en donde abundan las de oro corrido, que casi no necesitan de los recursos del arte sino de brazos, los cuales ya se ha dicho no pueden adquirir los mineros por falta de fondos.

AC — Lo que queda por hacer para la conclusión de este asunto

Tal es el estado en que queda este negocio, y debiendo darse cuenta a S. M. del efecto que tengan las diligencias que se están practicando, para ver si hay quien quiera hacerse cargo de las minas de Mariquita, en los términos insinuados en la real orden, queda reservado a V. E. el ejecutarlo y ratificar mi última propuesta, o abrir otro camino, pues yo no he encontrado otro que el referido, y así como en mi tiempo no hubiera ya opinado se emprendiesen aquellos trabajos por cuenta de la Real Hacienda, así también no habría jamás apoyado su continuación.

AD — Auxilios generales y particulares para el fomento de los mineros

Por lo demás, y hablando generalmente de los auxilios que el gobierno puede conceder a los mineros de todas

clases, no hay otros que el de continuarlos a los que trabajan las minas de oro la rebaja de los derechos y el aumento del precio en el marco, como lo he informado a S.M.; conceder toda la gracia posible en los mismos derechos a la plata que se extraiga de los minerales; franquearles a cómodo precio la pólvora que necesiten y favorecer de todos modos los proyectos útiles y factibles que se presenten para abrir caminos y facilitar la entrada de viveres a los mineros. Con esto podrán los mineros aumentar poco a poco sus trabajos y utilidades, y procurarse algunos medios para acrecentar sus cuadrillas de esclavos y dotar inteligentes que dirijan o mejoren sus operaciones.

AE — Minas de cobre

En Villeta y Monquirá hay minas de cobre, y de ellas se saca todo el que se emplea en calderas de varios tamaños y otros utensilios para los ingenios de azúcar, y varios usos domésticos en estas partes interiores del reino.

AF — Remisión de este metal a España por vía de ensayo

No hace mucho tiempo que de orden de la corte se han remitido a España muestras de las diversas clases de cobre que se encuentran en dichos parajes, con razón de sus precios, costos de su afino y transporte, cuyas noticias se pidieron para hacer los correspondientes ensayos, comparaciones y experimentos en las fundiciones de artillería. No se han comunicado las resultas, ni prevenido otra cosa, sino que se den las providencias más eficaces para que se procuren mejorar las fundiciones de cobre en las tres clases de pasta, negro y blanco. Aunque esta prevención ha dimanado de otro ministerio y ha sido expedida a consulta de la junta general de Comercio, Moneda y Minas, se ha dispuesto su cumplimiento, comunicándola a los alcaldes de estos minerales y no se puede esperar mucho fruto, porque ni se dice cómo se han de mejorar dichas fundiciones, ni al gobierno le es fácil atender a este objeto con la inmediatez que se requiere.

AG — Minas de esmeraldas

Las minas de esmeraldas de Muzo se trabajaban, cuando yo entré al mando, por cuenta de la Real Hacienda, y estaban al cuidado de un director, un veedor y otros empleados subalternos. Sus gastos ascendían a 6.000 pesos anuales y nunca creí que alcanzase a cubrirlos el valor imaginario de las piedras que se sacaban. No parece se había llegado alguna vez a discurrir sobre esto, para calcular la utilidad de mantener este establecimiento a expensas del erario, ni acaso hubiera esta diligencia producido su efecto, por no haber aquí lapidarios que pudiesen evaluar estas piedras con algún conocimiento.

AH — Su actual estado

Sin embargo, hice presente a S.M. cuanto me pareció digno de su real noticia, al mismo tiempo que remití un cajoncito con las esmeraldas extraídas en dos años, y razón de su costo, que ascendía a más de 6.500 pesos; y habiendo resultado de su avalúo hecho por los mejores lapidarios de Madrid que su valor era poco más de 1.000 pesos, quedó S.M. persuadido del perjuicio que se seguiría a su erario en continuar de su cuenta el laboreo de aquellas minas; aprobó que lo hubiese yo mandado suspender y determinó que las minas, las tierras y demás se diese en arrendamiento, sacándolo todo a pública subasta, con calidad de pagarse el arrendamiento en las mejores esmeraldas, lo mismo que el quinto debido al fisco, y que para excusar los sueldos de los empleados, se les diese esta colocación según su mérito y aptitud. El principal de éstos ha obtenido su retiro; resta colocar al interventor o veedor, y en cuanto al arrendamiento de las minas, se esperan las diligencias de sus pregones hechos en Vélez para ver si ocurre postor. Es difícil que lo haya, y en este caso sería el mejor partido dejarlas trabajar libremente a los particulares, con la obligación de pagar en esmeraldas los quintos, y de presentar las mejores piedras que saquen para comprarlas y enviarlas a S.M. si así fuese de su real agrado; y tal vez por este medio volverían estas minas a ser lo que fueron antes, útiles a la Real Hacienda.

CAPITULO QUINTO. DEL COMERCIO

A — Comercio de Quito

El comercio de las provincias de Quito puede considerarse reducido a la quina que se extrae de los montes no comprendidos en los del acotamiento, al cacao de Guayaquil y algunas pocas manufacturas ordinarias, como paños, bayetas y jergas bastas, y a una porción de pinturas y esculturas que se hacen en la capital, en donde acaso la necesidad ha hecho cultivar estas nobles artes, más bien con relación al comercio que con el designio de adelantarse y aventajar en ellas; o a lo menos así lo parece, porque en las muchas pinturas que circulan por el reino hechas en Quito no hay que buscar valentía ni imaginación en el pincel ni inteligente en el colorido.

B — Dificultades que padece

Sea de esto lo que fuese, es loable la aplicación de aquellos naturales y no carecen de ingenio; pero el país es pobre en medio de sus abundantes frutos, porque no pueden extraerlos, y a excepción de la quina y el cacao que sufren los costos de la exportación por Guayaquil, los demás productos de las haciendas no tienen otro consumo que el del mismo distrito en que se cosechan. De aquí dimana la escasez de numerario que allí se padece

y a cuya falta puede ocurrirse proporcionando a Quito el laboreo de algunas minas y salida de sus frutos.

C — Fomento de sus minas

Lo primero se comienza a lograr en los minerales de Cuenca, y siendo de creer que los haya en otras provincias, me parece que no estaría por demás el auxilio de un profesor de mineralogía hábil, que reemplace al que venía para aquel destino y murió en La Coruña.

CONCLUSION

Mis providencias, órdenes, consultas, informes y cuanto he podido y debido hacer, he procurado dirigirlo al mejor servicio de Dios, del Rey y de esta parte de sus dominios, que por siete años ha estado a mi cargo. No presumo del acierto, siendo tan difícil lograrlo en todo; pero

11. RELACION DEL ESTADO DEL NUEVO REINO DE GRANADA, PRESENTADO POR EL VIRREY D. PEDRO MENDINUETA A SU SUCESOR, D. ANTONIO AMAR Y BORBON. AÑO DE 1803

Excmo. Sr.:

Aun cuando no estuviese sabiamente ordenado por una ley del código de Indias que los virreyes al tiempo de dejar sus cargos formen y entreguen a sus sucesores una relación exacta y circunstanciada de lo que hayan hecho y quedarse por hacer en las diversas materias del gobierno que han tenido a su cuidado, dando sobre todo su parecer, a fin de que les sirva de instrucción, lo haría yo ciertamente para dar un testimonio público de mi manejo, para satisfacer a la confianza que debí a la piedad del rey, cuando se dignó encargarme el mando de esta dilatada porción de sus dominios, para facilitar a V.E. cuanto es de mi parte el conocimiento necesario de los importantes asuntos que van a ser el digno objeto de su ocupación y de su celo.

El imperio de la ley no deroga ni disminuye la eficacia de estos motivos y cumpliendo con lo que éstos exigen y aquélla manda, consignaré en este papel una memoria de lo que he ejecutado en los siete años que he gobernado estas provincias en nombre de su augusto dueño; expresaré lo que queda pendiente y propondré mi dictamen en lo que pueda darlo, sujetándolo siempre al examen de V.E., con que aseguro el acierto. Yo no podría dar a V.E. una idea más completa del estado en que se hallaba este reino a mi entrada al mando, verificada el día 2 de enero de 1797, que la que ofrece la adjunta relación que me entregó mi inmediato antecesor el conde de Ezpeleta.

no tengo que arrepentirme de la buena intención que ha guiado mis procedimientos y mi manejo. Mucho queda por hacer para el logro de todos los piadosos deseos de S.M. y beneficio público, que van a ser el digno objeto y ocupación de V.E. durante su gobierno.

Obligado por la ley a dejar explicado mi dictamen sobre algunos puntos, he cumplido con ella, y sujetando mis reflexiones a las luces de V.E. será mi mayor satisfacción que V.E. las examine y rectifique. En la secretaría del Virreinato quedan los papeles que se han creado en mi tiempo, y en el jefe de esta oficina un sujeto que reúne a su talento y probidad el conocimiento y noticia de cuanto se ha hecho durante mi gobierno, y que por su desempeño ha merecido mi confianza.

Nuestro señor guarde a V.E. muchos años.

Santafé de Bogotá, 1 de diciembre de 1796.

José de Ezpeleta.

Excmo. Sr. D. Pedro Mendinueta.

Este papel, de cuya exactitud puedo deponer, acredita por una parte la infatigable actividad de aquel digno virrey, y por otra me sirve de modelo en su material exposición, que seguiré puntualmente, tratando primero del estado eclesiástico, después del gobierno y administración de justicia, luego de la Real Hacienda, y finalmente de la guerra o ramo militar; división la más adecuada y correspondiente a los ministerios de vicepatrono real, gobernador, superintendente general de Real Hacienda y capitán general, que se reunieron en la persona del primer Jefe de este reino, y se han transmitido a sus sucesores.

El ejercicio de la autoridad y facultades respectivas a estos cuatro ramos o partes del gobierno ofrece un número tan considerable de negocios y tan diversos entre sí que es imposible retenerlos en la memoria, y sería una empresa difícil tratar de todos ellos en esta relación. En ella pues sólo tendrán lugar los que por su importancia o gravedad, por su trascendencia e interés común merezcan una particular atención y tal es el sistema que han seguido mis antecesores en igual caso, ni puede adoptarse otros ni exponerse al peligro de envolverlo todo en una vaga generalidad, tan distante de los altos fines de la ley como perjudicial al buen servicio del rey y del público, a que aspira la transmisión de conocimientos que por ella se establece.

PARTE SEGUNDA**DEL GOBIERNO Y DE LA ADMINISTRACION DE JUSTICIA****CAPITULO QUINTO. DE LAS MINAS**

Este país posee, si no todas, la mayor parte de las riquezas del reino mineral. En sólo metales tiene oro, plata, cobre, plomo, hierro, zinc y los demás que constan en las nomenclaturas químicas. El platino es una producción exclusivamente suya hasta el día. Las minas que más se benefician son las de oro, muy poco las de plata y plomo, algo más las de cobre, nada las de hierro, zinc, etc., y el platino, que antes se miraba como una escoria del oro, sale mezclado con él en la provincia del Chocó. También se descubrió hace años un mineral de azogue en las montañas de Quindío. Se dice que las hay en Panamá y Cuenca, pero se han practicado diligencias que si no destruyen del todo la aserción, disminuyen mucho la esperanza de este hallazgo.

Reproduciendo en este lugar las noticias y reflexiones que acerca de los establecimientos de minas, su estado y fomento dejó escritas mi inmediato antecesor, daré a V.E. las pocas que por mi parte he podido adquirir.

Los estados adjuntos de acuñación de metales en las dos reales Casas de Moneda de Santafé y Popayán formados por un quinquenio contado desde 1796 a 1801 hacen ver que en la primera han entrado a amonedarse 51.861 marcos de oro, que valen 6.917.133 pesos, y en la segunda 36.306 marcos con 4.595.398 pesos de valor, omisos quebrados. Estos datos nos dan por un año común en la primera de dichas casas una entrada de 10.127 1/3 marcos, que importan 1.138.426 3/5 pesos, y en la segunda 7.261 1/4 marcos, que hacen 919.075 2/8 pesos.

Comparados con un quinquenio anterior, tomado de los estados que acompañan a la Relación del Gobierno del Conde de Ezpeleta, resulta un aumento de cerca de 2.000 marcos anuales en la entrada de la Casa de esta capital, al mismo tiempo que en la de Popayán no se advierte una variación que merezca notarse, lo que en parte debe atribuirse a que en este tiempo se giran los oros del Chocó a esta capital en mayores porciones que antes, y otro tanto ha dejado de ir a Popayán.

Atendido lo que resulta de los estados actuales, parece que el laboreo de las minas de oro ha tenido algún adelantamiento, o más bien dicho, que la extracción de este metal ha sido mayor, y con efecto puede asegurarse que lo es, aunque no en la masa total que presentan los estados. Ellos ofrecen un verdadero aumento en la introducción de oros a las Casas de Moneda, pero sería un error dar otro tanto a la extracción, sin contar con las circunstancias de la guerra, que no ha permitido exportar para la Metrópoli los oros en pasta o barras, como en tiempos de paz, y no teniendo a sus dueños cuenta el mantenerlos sin giro, para darles algunos se han visto precisados a manifestarlos aquí y reducirlos a moneda.

Si ha habido, sin embargo, alguna exportación legítima, ha sido muy poca, y aunque también puede suponerse que se haya extraído por el comercio clandestino algún oro en pasta, no será en mucha cantidad, sabiéndose que la plata fuerte y frutos son más apreciables en las colonias, por el mayor valor que tienen ellos.

Todo esto me hace creer que las minas no han prosperado, o al menos tanto que se deba mirar como un adelantamiento extraordinario, para el cual tampoco hay causas visibles que pudieran promoverlo, y antes por el contrario, la escasez y carestía del hierro y acero para las herramientas es un motivo constante y cierto, que si no ha perjudicado al trabajo de la minería, lo ha hecho quizá más lento y menos útil que cuando se logran estos artículos de tan preciso y diario consumo a precios regulares.

La guerra ha interrumpido también la introducción de negros, así los mineros no han podido aumentar sus cuadrillas en estos últimos años aun concediéndoles fondos para la adquisición de estos brazos, únicos que se emplean en las minas. El fomento de éstas debe esperarse de un concurso de muchas causas, indicadas por mi inmediato antecesor, y entre éstas considero digna de preferirse la buena y acertada dirección de los trabajos y operaciones de cada mina, proporcionando una bien entendida economía de tiempo y brazos en las maniobras, y la inteligencia necesaria para aprovechar todo el metal y facilitar su extracción. El dotar inteligentes o facultativos, por cuenta de la Real Hacienda, sería un gravamen considerable para ésta, y no todos los mineros podrían aprovecharse de este beneficio, ni tal vez produciría los efectos que se desean. Yo creo más útil y benéfico, y mucho menos costoso, el establecimiento de una cátedra de mineralogía y metalurgia, a la que se debería destinar un sujeto bien instruido, no sólo en la teoría sino en la práctica del beneficio de las minas mejor dirigidas de Europa, que recorriese después las de este reino, esto es, las del Chocó, Barbacoas, Antioquía, Vega de Supía y alguna otra, y tomando conocimientos prácticos del terreno y sus circunstancias, método que se observa y mejoras de que es susceptible, estableciese después la enseñanza bajo los principios ciertos y acomodados al país, formando un curso completo, sencillo y fácil de esta ciencia, que si debe propagarse en todas partes, con mayor razón en un reino tan abundante de producciones de esta clase.

Cada provincia tiene métodos y reglas particulares adaptados a sus circunstancias; la tradición los ha enseñado y el uso los consagra. Es menester observarlas, no despreciarlas del todo y ver si se pueden mejorar. Un genio vivo, conocedor y atento a todos los objetos que presenta el laboreo de una mina, encontrará mil cosas que le interesen y le detengan útilmente, para reglar después la enseñanza de un modo que, sin dejar de hablar facultativamente, se haga entender de todos, les persuade y convenga con el raciocinio más enérgico, que es el que demuestra a cada uno su verdadera utilidad.

Los dueños de minas, casi todas personas pudientes, que envían a sus hijos y parientes desde los parajes más remotos a educarse en los colegios para abrazar las carreras eclesiásticas o del foro, los destinarán con mayor gusto e interés al estudio de la mineralogía y metalurgia y podrán hacerlo los jóvenes sin perjuicio de su inclinación o gusto por otras ciencias, pues cualquiera que haya de ser su estado, llevarán a su país conocimientos muy provechosos para dirigir sus propias minas y las ajenas. Algunos se dedicarán personalmente a esta honrosa y útil ocupación; otros serán consultados y no faltarán quienes establezcan una cátedra en Popayán, Antioquía y otras partes, para difundir y generalizar las luces del arte auxiliar de la naturaleza.

Ello es cierto que las naciones sabias cultivan este arte con empeño y que trabajan sus minas con una dirección la más exquisita. Algunos creen que esta dirección, industria y economía no les es absolutamente necesaria para que ellas suplan las desventajas de sus minas y sacar alguna utilidad. De aquí infieren que en este reino y otros de América, en donde la naturaleza prodiga los metales, no es precisa otra dirección que la de una pura rutina, porque con ella extraen algún oro o plata y se sostienen, o hacen también una regular fortuna. No me empeñaré en destruir una ilusión tan absurda, y sólo diré que la mayor parte de mineros arruinados lo han sido por falta de conocimientos, y que si ahora, sin ellos, es decir, sin dirección, sin economía, sin ingenios ni máquinas, reportan utilidades del laboreo de sus minerales, las lograrían mayores con estos auxilios, y ahorrarían mucho tiempo y brazos en sus faenas, y por consiguiente una parte de los grandes capitales que invierten en estos establecimientos.

Persuadido de estas verdades, el Arzobispo- virrey impetró y obtuvo de la benignidad del rey que se destinasen a este reino dos mineralogistas dotados por S. M. Vinieron con efecto y D. Juan José D'Elhúyar, que era el principal, pudo haber desempeñado la dirección de las minas del reino y contribuir a sus progresos con la superioridad de sus luces y completa instrucción que poseía, según se me ha informado; pero en lugar de empleársele en este objeto, que fue el de su venida, se le destinó al laboreo de las minas de plata de Mariquita por cuenta de la Real Hacienda, y esta empresa, al fin desgraciada y nunca conveniente, en lugar de animar a otros, ha resfriado los deseos de algunos que alentados con la proporción de tener un buen director, hubieren quizá emprendido el beneficio de una mina de plata o aspirado a mejorar el de las de oro.

A mi entrada al mando de este reino ya era cosa decidida por S. M. la suspensión del laboreo de las minas de Mariquita, y se estaban practicando diligencias para trasladar su propiedad a la compañía o particulares que se presentasen con facultades bastantes a seguirle de su cuenta, tomándolas por compra o en arrendamiento. Ninguno se había presentado hasta entonces, ni después han ocu-

rrido empresarios, y ha sido preciso vender los negros y herramientas a beneficio del erario, y tomar otras providencias, que V.E. podrá reconocer en el expediente de este asunto, y dictar las que faltan para el total cumplimiento de las reales órdenes de 22 de mayo y 19 de junio de 1779, en las que previene S. M. se saque de aquellas minas el partido posible, teniendo presente la última propuesta que hizo a la corte mi inmediato antecesor, para que en el caso ya llegado de no haber quien las tome por su valor, ni en arrendamiento, se concedan gratuitamente a los que quieran recibir las, entregándoles los edificios y máquinas, sin más obligación que la de continuar el laboreo y conservar en buen estado lo que reciban. Aun así dudó aquel jefe si habría sujetos que quisiesen admitirlas, y yo lo dudo también, porque no veo inclinación a estos trabajos, ni facultades para emprenderlos ni continuarlos. La empresa ha sido absolutamente malograda, y esto puede servir de gobierno para no intentar otra igual por cuenta de la Real Hacienda. Estoy persuadido de que aquí, y quizá en todas partes, la verdadera utilidad del erario consiste en que haya muchos mineros, pero no en beneficiar las minas por su parte. Los caudales que se quieren invertir en esto serían más fructuosamente empleados en auxiliar a los particulares, bajo de ciertas reglas, y más que todo en instruirlos para sacar de sus minerales las mayores ganancias, y el fisco encontrará seguramente en esto las suyas, sin necesidad de unos esfuerzos extraordinarios, como los que se hicieron en Mariquita, cuyas resultas, no ignoradas de todos, dejarán una idea muy desventajosa contra el laboreo de las minas de plata de este reino.

El metal platino se halla estancado por S. M. y declarada exclusivamente su pertenencia a la soberanía desde el tiempo del Arzobispo- virrey, que destinó a la provincia del Chocó un visitador con este objeto. Entonces se previno a aquellos mineros que presentasen en las tesorerías todo el que acopiasen, el cual se les pagaría a dos pesos fuertes libra; se dictaron algunas reglas para el acopio, y se logró hacer el de más de cien arrobas, que aquel jefe condujo a España a principios del año 1789.

En el día, en consecuencia de novísima real orden, se ha ratificado el estanco, publicándolo generalmente dentro y fuera del reino; se han hecho eficaces encargos para recoger las mayores porciones de este metal, a fin de satisfacer los deseos del rey, y se continúa pagando al mismo precio, por no haberme yo considerado con facultades para aumentarlo, sin embargo de ser muy bajo el de dos pesos libra. Así lo he representado a S. M. proponiendo se pague mejor el platino, para evitar se comercie con los extranjeros y se haga de él otros abusos, como el de mezclarlo con el oro, de que ya hay un ejemplar que por casualidad pudo advertirse. Un aumento proporcionado facilitará la adquisición del que se deja y no se puede conseguir por otros medios. Las mismas reales órdenes dan a este metal el título de precioso; son públicas y constantes las diligencias que se practican para reco-

gerlo con destino al servicio del rey; no faltan en el reino algunos escritos o memorias que dan idea de su valor; se dice que los extranjeros lo apetecen y pagan bien, y todo esto, unido al infimo precio a que se quiere comprarlo en estas tesoreras, ha de retraer a sus poseedores de manifestarlo en ellas, animándolos al mismo tiempo a darle mejor salida.

Se asegura que antes lo arrojaban los mineros, reputándolo como una escoria del oro. Supongo que así fuese, y que en los años 1787 y 1788, en que de la corte se hicieron los primeros encargos, se mirase como un beneficio para el minero darle valor a una producción que antes no lo tenía; pero las circunstancias han variado absolutamente. Ya es bastante conocido este metal, se hace de él algún uso mezclándolo, según he oído decir, con la plata para convertirla en alhajas, que con esta mezcla salen más brillantes, y aun parece que se han hecho tentativas dentro del reino para lograr su maleabilidad. No es por tanto un objeto indiferente, y sólo el aumento de su precio podrá contribuir a los fines que se ha propuesto el ministerio de recoger cuanto se extraiga de estas minas.

El recurso de beneficiar por cuenta de la Real Hacienda alguna que se crea más productora de platino, ya se indicó de la corte; y por fortuna no se incurrió aquí en la tentación de experimentarlo. Sería un medio muy costoso en su primer establecimiento y en su subsistencia. En lo primero, por la necesidad de comprar una cuadrilla de negros, surtirlos de herramientas y fabricarles habitaciones, y en lo segundo, prescindiendo de la manutención de los esclavos, por la precisión de crear y tener a su sueldo un director, sobrestantes y otros empleados igualmente gravosos. No correspondería jamás la utilidad a los gastos, y extrayendo platino de las minas, siempre subsistirían los inconvenientes apuntados, de que doy a V. E. esta sucinta idea, porque nada se me ha contestado hasta ahora por el ministerio a mi informe citado.

CAPITULO SEXTO. DEL COMERCIO

Declarada la guerra con la nación británica al mismo tiempo que S. M. se dignó destinarme a este mando, he sido un testigo no indiferente de la casi absoluta interrupción del comercio entre la Metrópoli y el reino, y de su consiguiente suplantación en parte por el contrabando.

Este reino no tiene fábricas con que dar ocupación y subsistencia a la población, fomentar su industria y mantener un comercio floreciente.

Debe por ahora ser minero y agricultor; uno y otro ramo son capaces de grandes adelantamientos y teniendo expresado arriba cuanto he creído convenir para mejora de

la minería, a que sólo añadiré la necesidad de conservar a los mineros la rebaja que disfrutaban en los derechos de quinto y cobro, y el aumento de precio en el oro que manifiestan en las casas de moneda, cuyas gracias han debido a la piedad del rey, digo, en cuanto a la agricultura, que siempre que haya ventajas conocidas para su aumento, le tendrá infaliblemente.

La composición de los caminos y la apertura de otros nuevos, mejor dirigidos, serán muy favorables a la minería, agricultura y comercio; pero ésta es una empresa superior por ahora a las fuerzas del gobierno y a las de los pueblos; todo lo que puede hacerse es aplicar algunos reparos provisionales de tiempo en tiempo a los caminos ya abiertos, y de esto cuidar los jueces respectivos, con el auxilio de los vecindarios, contribuyendo los pudientes con dinero y víveres, y los demás con su trabajo personal.

He visto el expediente de erección [del Consulado de Cartagena de Indias] y lo juzgo utilísimo pues se formará un cuerpo de comerciantes y hacendados, que reunidos mirarán por el fomento de uno y otro ramo con todo el interés y conocimientos que les son propios.

Es cosa rara ver que estas dos apreciables profesiones casi se desconocen aquí mutuamente; que el comerciante sólo busca por lo común el oro y la plata; que el hacendado, ya sea criador o agricultor, no tiene otro recurso cuando trata de adelantar sus crías o cosechas, que el de solicitar de las manos muertas un capital, con que queda gravado para siempre, y que si no todas, la mayor parte de las negociaciones de una y otra profesión se hacen por sus respectivos principales, punto menos que exclusivamente. Así es que se resienten de una pequeñez y lentitud asombrosas, que no pueden prosperar por falta de recursos, no habiendo reunión de intereses que se los facilite, y que el oro y la plata pagan todos los consumos de fuera con absoluta ruina de la agricultura.

CONCLUSION

En cuanto he hecho he tenido siempre presente el servicio de Dios, del Rey y del público; he procurado el acierto, y en la duda de haberlo conseguido, me tranquiliza a lo menos la rectitud de mis intenciones y deseos. Si alguno debo formar todavía es ciertamente por la prosperidad de este reino bajo el feliz gobierno de V. E. a cuyos ilustrados talentos queda mucho en qué ejercitarse dignamente.

No todos los ramos del Gobierno han podido tener lugar en esta Relación, ni ha sido fácil tratar de los que comprende con toda la extensión que yo hubiera querido. En algunos asuntos pendientes he explicado mi concepto porque la ley me lo previene, pero sin aspirar a que mis

ideas tengan otra deferencia que la que pueda darles la razón en que se fundan.

Si V. E. desee mayores noticias que las contenidas en este papel, se las dará muy exactas el teniente coronel don José de Leiva, secretario del Virreinato, en quien hallará V. E. reunidos el talento, la probidad, una instrucción poco común, y por complemento de estas apreciables circunstancias, los conocimientos que ha adquirido de este reino en el largo y útil servicio que ha hecho a las ór-

12. INSTRUCCION SOBRE EL ESTADO EN QUE DEJA EL NUEVO REINO DE GRANADA FRANCISCO DE MONTALVO, EN 30 DE ENERO DE 1818, A SU SUCESOR JUAN DE SAMANO

Excelentísimo Señor:

Reales disposiciones acordadas por el más sano juicio desde tiempos muy antiguos previenen al virrey que acaba en el mando de las provincias confiadas a su celo y cuidado que instruya en lo más esencial al sucesor, al consignarle tan sagrado depósito del mérito de providencias dictadas durante los años de su gobierno, para que sepa lo que hay hecho y lo que queda por hacer.

[Noticias generales sobre la revolución y la guerra de independencia]

A — Parte de Gobierno

La exportación de oro y plata que se hace en cambio de los efectos que se introducen es bastante considerable. Según las noticias que he sacado de los estados del año inmediato pasado, asciende a 205.033 pesos 6 reales. La extracción de frutos no merece referirse; la cantidad de ellos salidos por nuestros puertos sólo sirve para probar el vergonzoso atraso de todos los ramos de agricultura e industria de este reino. En el día de hoy no debe admirar tanto, porque se puede estimar como consecuencia de la guerra; pero en los centenares de años que han pasado después de su descubrimiento, en que las colonias todas, nacionales y extranjeras, han adelantado tanto en este ramo y en muchas artes, no sólo de pura utilidad sino aun de lujo, no merece disculpa su criminal abandono, sea de quien fuere la culpa, bien de la general desidia de los habitantes, del descuido de los jefes que nos han precedido, a quienes no puedo menos que atribuir la parte principal, por el poco o ningún interés que han puesto en remover los embarazos que oponen a los progresos de estos vasallos su mismo carácter tímido, sin ambición y propenso a la ociosidad.

Es una calumnia, inventada por la malignidad, la de atribuir al Gobierno de la monarquía la menor intención que se oponga ni haya opuesto a los progresos de la industria, las ciencias y las artes en estos países; pues que seme-

denes del Conde de Ezpeleta y continuado a mi satisfacción.

Nuestro Señor guarde a V. E. muchos años.

Guaduas, diciembre de 1803.

Pedro Mendinueta

Excmo. Sr. D. Antonio Amar y Borbón, virrey, gobernador y capitán general del Nuevo Reino de Granada.

jante conducta estaría en contradicción con sus intereses más preciosos.

B — Real Hacienda

Existe en el reino, como V. E. sabrá, dos casas de moneda, una en la capital y la segunda en Popayán. Se trató durante las novedades pasadas de establecer otra en Medellín, habiéndose llegado a levantar un edificio para el efecto, en el cual tengo entendido que se adelantó bastante; pero según oficio del gobernador de Antioquía, de 27 de febrero del año anterior [1817], faltaban 21.420 pesos para su conclusión.

Los antioqueños pretendieron se llevase a efecto la empresa después de pacificadas las provincias, a cuyo fin se dirigieron a mí, y no pudiendo desentenderme de oírlos y complacer en cierto modo a unos habitantes que habían dado pruebas de fidelidad, dispuse se formada expediente para determinar sobre este grave asunto, el cual está corriendo sus trámites, habiendo oído ya los informes de los superintendentes que se oponen al nuevo establecimiento, y el del gobernador de Antioquía, que sólo viene a decir que de 1801 a 1805 produjo el oro fundido de la provincia 1.063.111 castellano, y la corta cantidad de 21.420 pesos que se necesitaban para la conclusión del edificio, alegando razones de conveniencia a favor de los vecinos, las cuales no dejan de tener fuerza. El cuaderno se pasó a junta superior de Real Hacienda desde el 20 de marzo de 1817, en donde está pendiente. A V. E. será a quien toque resolverlo; pero no pudiendo excusarme de exponerle mi concepto en cada negocio, le digo que me parece no conviene se introduzcan novedades por ahora, y que lo mejor sería sobreseer en el expediente hasta otra oportunidad, continuando solas las dos casas que hay existentes.

A ambas las hallé casi desorganizadas cuando tuve ocasión de imponerme de su situación y habiendo conseguido las noticias que necesitaba, he aplicado las providen-

cias conducentes, logrando que hayan producido buenos efectos.

A S.M. lo que le importa es la conservación de sus dominios en paz, y el hacer de estas regiones unas provincias útiles a la nación, estrechándose cada día más los lazos de amistad, unión y reciprocidad, por los medios conocidos, hasta establecer y consolidar la armonía que debe existir entre partes que forman un mismo cuerpo de nacionalidad. Pero si en vez de dirigir las miras a este fin, se fomentan los principios de desunión por los propios jefes y ministros destinados a extinguilra, jamás habrá tranquilidad segura, no pudiendo, como no pueden, las provincias de América conservarse perpetuamente en el pie de guerra necesario, para el caso de que se creyera que es la violencia la que debe obrar la sujeción de ellas. Por tales fundamentos previne a los gobernadores, en orden de 21 de junio de 1817, a vista de varias quejas que tuve, procurasen con todo cuidado contener

las animosidades, manifestando a sus súbditos, en ocasiones oportunas, que todos son españoles, vasallos de un mismo monarca, a cuyos ojos son iguales los que se portan con la fidelidad debida a su rey, sean españoles europeos o españoles americanos.

Así se guarda la imparcialidad indispensable para conciliar, y además se sigue la conducta de S.M. y de sus consejos que es la que me ha servido de regla y la misma que he procurado imitar.

Dios guarde a V. E. muchos años.

Cartagena de Indias, 30 de enero de 1818.

Francisco de Montalvo.

Excmo. Sr. D. Juan de Sámano, virrey, gobernador y capitán general de estos reinos.

Notas bibliográficas

GEOLOGIA GENERAL

901634. **Ortofotomapa de Catalunya en fals color 1:50.000.** ARBIOL, R.; PALA, V., y ROMEU, J. *Rev. cat. geogr.* (1990), vol. 5, núm. 12, 47-53, 9 ref., cat., res. esp., ing., bibl. ITGE.
* Teledetección multispectral, LANDSAT, Imagen, Cartografía, Ortofotomapa, Provincia Barcelona.
901658. **Nuevo atlas nacional de España.** SANZ NUÑEZ, A. C. *Topogr. Cartogr.* (1989), vol. 6, núm. 33, 29-36, esp., bibl. ITGE.
* Proyecto, Atlas, Inst. Geogr. Nac., España.
901672. **Guía de la Facultad de Ciencias Geológicas.** *Univ. Compl. Madrid* (1988), 269 pp., esp., bibl. ITGE.
* Institución, Programa enseñanza, Enseñanza superior, Geología, Madrid, España.
901674. **Libro homenaje a Rafael Soler.** *Asoc. geol. geofís. esp. petróleo* (1989), 155 pp., esp., res. ing., bibl. ITGE.
* Monografía, Geología.
901688. **Museu de Geologia i del Guix. Col·lecció Rovira Sendrós.** 4 pp., cat., bibl. ITGE.
* Museo, Geología, Yeso, Colección, Provincia Barcelona.
901693. **Un viaje a la Antártida: Primera expedición científico-pesquera española.** INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFIA. (1990), 246 pp., 50 ref., esp., bibl. ITGE.
* Buque oceanográfico, Geología, Biología, Antártico.

GEOLOGIA REGIONAL

901667. **Geología del borde norte de la Sierra de la Demanda entre los ríos Najerilla y Oja.** PEREZ LORENTE, F.; PAVIA, S., y PEREZ GOMEZ, A. *Zubia* (1988), núm. 6, 73-79, 14 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.
* Trías, Jurásico, Terciario, Falla, Falla inversa, Falla horizontal, Cabalgamiento, Provincia Logroño, Macizo Ibérico, Cuenca Ebro.

ESTRATIGRAFIA

901679. **La serie estratigráfica del Penibético.** MARTIN ALGARRA, A., y VERA, J. A. *Libro homenaje a Rafael Soler* (1989), 67-76, 36 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.
* Trías, Jurásico, Cretácico, Mioceno Inf., Unidad estratigráfica, Medio marino, Plataforma carbonatada, Roca carbonatada, Laguna estratigráfica, Emersión, Paleogeografía, Zona Subbética, Zona Bética, Penibético.
901680. **Nouvelles données stratigraphiques et biostratigraphiques (Charophyta) sur le passage Jurassique - Cretacé dans le bassin du Maestrat, Chaîne Ibérique Oriental.** MARTIN CLOSAS, C., y SALAS, R. *Libro homenaje a Rafael Soler* (1989), 77-91, 37 ref., fr., res. esp., ing., bibl. ITGE.
* Jurásico Sup., Cretácico Inf., Biostratigrafía, Flora específica, Charophyceae, Regresión, Variación nivel, Medio agua poco profunda, Plataforma carbonatada, Sedimentación continental, Medio agua dulce, Maestrazgo, Provincia Castellón, Macizo Ibérico.
901682. **Macrosecuencias deposicionales del Oxfordiense-Barremiense de la región Vasco-Cantábrica: implicaciones estratigráficas y paleogeográficas.** PUJALTE, V. *Libro homenaje a Rafael Soler* (1989), 105-114, 21 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.
* Jurásico Sup., Cretácico Inf., Ciclo sedimentario, Lito-facies, Paleogeografía, Diacronismo, Sedimentación marina, Sedimentación continental, Región Cantábrica, Provincias Santander, Vizcaya, Guipúzcoa.

GEOMORFOLOGIA

901605. **La variabilidad de los perfiles de playa. Perfiles de verano e invierno. Análisis histórico (Primera parte).** NEGRO, V. *Ing. civ.* (1990), núm. 74, 63-69, esp., res. ing., bibl. ITGE.
* Morfología costa, Línea costa, Playa, Oleaje, Variación estacionaria, Ecuación matemática.

901626. **Landslides in the Upper Jordan Gorge.** INBAR, M., y EVEN-NIR, M.
Pirineos (1989), núm. 134, 23-40, 14 ref., ing., res. fr., esp., bibl. ITGE.

* Deslizamiento terreno, Movimiento masa, Agua lluvia, Erosión fluvial, Cañón, Roca volcánica, Río Jordán, Medio Oriente, Israel.

901628. **Los estudios de geomorfología en Israel: Los grandes trazos de la evolución reciente.** RUIZ FLAÑO, P., y MARTINEZ CASTROVIEJO, R.

Pirineos (1989), núm. 134, 105-114, 79 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Síntesis bibliográfica, Geomorfología, Israel.

901648. **La variabilidad de los perfiles de playa. Perfiles de verano e invierno. Análisis histórico (Primera parte).** NEGRO, V.

Rev. obras públicas (1990), núm. 3.289, 23-29, esp., bibl. ITGE.

* Síntesis bibliográfica, Morfología costa, Playa, Ecuación matemática, Oleaje, Variación estacionaria.

901651. **El perfil de la playa y sus factores de equilibrio.** GARAU, C.

Rev. obras públicas (1990), núm. 3.291, 35-42, 8 ref., esp., bibl. ITGE.

* Playa, Sedimentación litoral, Erosión litoral, Granulometría, Ecuación matemática.

901657. **Morphogenèse des reliefs cotières associés à la marge continentale Nord-Espagne. L'exemple du Nord-Est de la Galice.** VERGNOLLE, C.

Serie Nova Terra (1990), núm. 1, 315 pp., 184 ref., fr., bibl. ITGE.

* Tesis doctoral, Geomorfología, Morfología costa, Medio litoral, Galicia.

901659. **La topografía y sus relaciones de trabajo en Colombia.** ERASO, G.

Topogr. Cartogr. (1989), vol. 6, núm. 35, 34-39, 11 ref., esp., bibl. ITGE.

* Tecnología, Legislación, Topografía, Colombia.

901668. **Problemas de evolución geomorfológica en campos abandonados: el valle del Jubera (Sistema Ibérico).** GARCIA RUIZ, J. M.; LASANTA, T., y SOBRON, I.

Zubia (1988), núm. 6, 99-114, 21 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Morfodinámica, Erosión suelo, Infiltración, Escorrentía, Talud, Movimiento masa, Acción hombre, Agricultura, Provincia Logroño.

901697. **Ezcaray M. T. N. 240. Mapa geomorfológico.** ARNAEZ, J., y GARCIA RUIZ, J.

Inst. Estudios Riojanos (1990), 28 pp., 25 ref., esp., bibl. ITGE.

* Memoria explicativa, Mapa geomorfológico, Relieve estructural, Superficie erosión, Morfología glaciár, Ladera, Sierra de la Demanda, Provincia Logroño.

GEOLOGIA MARINA

901611. **«Hespérides», buque de investigación oceanográfica.** INSTITUTO SOCIAL DE LA MARINA.

Mar (1990), núm. 274, 43-46, esp., bibl. ITGE.

* Buque oceanográfico, Toma de datos, Almacenamiento de datos, Tratamiento de datos, Método sísmico, España.

901612. **75 años de Instituto Oceanográfico.** PEDRERO, M.

Mar (1990), núm. 275, 26-31, esp., bibl. ITGE.

* Institución, Oceanografía, Histórico, Investigación científica, Informe actividad, Perspectiva, España.

901695. **El mar de hielo.** ALVAREZ DE MENESES, A.

Un viaje a la Antártida (1990), 69-89, 6 ref., esp., bibl. ITGE.

* Oceanografía, Circulación oceánica, Corriente marina, Viento, Iceberg, Variación temporal, Antártico.

GEOLOGIA EXTRATERRESTRE

901607. **Formación de cráteres de impacto sobre la Tierra.** GRIEVE, R. A. F.

Invest. cienc. (1990), núm. 165, 58-66, 4 ref., esp., bibl. ITGE.

* Cráter meteórico, Cráter meteorito fósil, Metamorfismo choque, Onda choque, Impactita, Fusión.

GEOLOGIA DEL INGENIERO

901603. **Aparato para ensayo «in situ» de penetración estática de gran diámetro en sondeo.** SOPEÑA, L.

Ing. civ. (1990), núm. 74, 43-49, esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Instrumentación, Penetrometría.

901604. **Control de avenidas en la Sierra de Gádor.** LOPEZ HERNANDEZ, M.

Ing. civ. (1990), núm. 74, 53-59, 7 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Presa, Catástrofe natural, Crecida río, Hidrograma, Divisoria de aguas, Hidrología superficie, Escorrentía, Provincia Almería.

901608. **Tabarca, recuperación y defensa de un ecosistema marino.** MATE, V.

Mar (1990), núm. 274, 28-34, esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Ecosistema, Isla, Mar Mediterráneo Oeste, Provincia Alicante.

901609. **Columbretes, 4.000 hectáreas de reserva marina.** MATE, V.

Mar (1990), núm. 274, 35-36, esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Ecosistema, Isla, Mar Mediterráneo Oeste, Provincia Castellón.

901610. **Cerró el vertedero de Portmán.** MATE, V.

Mar (1990), núm. 274, 37-42, esp., bibl. ITGE.

* Vertedero, Residuo peligroso, Protección medio ambiente, Mina, Golfo, Mar Mediterráneo, Oeste, Provincia Murcia.

901613. **La Ley de Costas pone orden.** DIAZ, A.

Mar (1990), núm. 275, 33-38, esp., bibl. ITGE.

* Legislación, Protección medio ambiente, Línea costa, España.

901614. **En defensa del medio ambiente.** DIAZ, A.

Mar (1990), núm. 275, 39-42, esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Política Estado, Contaminación, Vertedero, Legislación, España.

901615. **Alarma en la costa.** INSTITUTO SOCIAL DE LA MARINA.

Mar (1990), núm. 276, 39-43, esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Duna costera, Conservación, Línea costa, Utilización terreno, Urbanización, España.

901618. **Memoria 1989. Centro de Estudios. Exp. Obras Públicas.** CEDEX.

40 pp., esp., bibl. ITGE.

* Informe actividad, Informe anual, Institución, Geotécnica, España.

901621. **La Antártida: patrimonio de la Humanidad.** LOPEZ SAEZ, J. A.

Panda (1990), núm. 30, 10-15, esp., bibl. ITGE.

* Antártida, Ecosistema, Biomasa, Recurso natural, Estudio impacto medio, Cooperación internacional, España.

901622. **Erosion of agro-forestal soil in mountains affected by fire in Central Portugal.** LOURENÇO, L.

Pirineos (1989), núm. 133, 55-75, 12 ref., ing., res. esp., por., bibl. ITGE.

* Erosión suelo, Tempestad, Fuego, Precipitación atmosférica, Divisoria de aguas, Red hidrográfica, Crecida río, Catástrofe natural, Histograma, Portugal.

901623. **Microtopographic evolution and erosion on afforested mountain slopes.** ORTIGOSA, L.

Pirineos (1989), núm. 133, 77-98, 24 ref., ing., res. esp., fr., bibl. ITGE.

* Conservación, Erosión suelo, Protección medio ambiente, Talud, Proporción material erosionado, Vegetación, Histograma, La Rioja, Provincia Logroño.

901627. **Wind energy farms in Israeli Mountains. Environmental impact and locational considerations.** SOFFER, A.

Pirineos (1989), núm. 134, 75-89, 11 ref., ing., res. fr., bibl. ITGE.

* Energía eólica, Elección lugar, Estudio impacto medio, Galilea, Israel.

901631. **Emergencia sísmica puesta a punto del plan operativo.** PROTECCION CIVIL. MADRID.

Prot. Civ. (1990), núm. 6, 18-20, esp., bibl. ITGE.

* Previsión, Riesgo sísmico, Planificación regional, España.

901632. **Planificación ante el riesgo de inundaciones.** PROTECCION CIVIL. MADRID.

Prot. Civ. (1990), núm. 6, —21—, esp., bibl. ITGE.

* Planificación, Catástrofe natural, Crecida río, Previsión, Legislación, España.

901633. **Evaluación económica de las inversiones necesarias en la protección ambiental.** MARTINEZ MERINO, M.

Quím. ind. (1990), vol. 36, núm. 6, 531-535, 9 ref., esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Investigación, Residuo peligroso, Residuo industrial, Residuo urbano, Perspectiva.

901641. **Directiva sobre aguas residuales urbanas.** RODRIGUEZ, J. I.

Rev. MOPU (1990), núm. 377, 18-24, esp., bibl. ITGE.

* Legislación, Residuo urbano, Aguas residuales, Vertedero, Contaminación, Depuración, CEE, España.

901643. **Cinco años de acuerdo MOPU-DATAR. Línea de encuentro.** ROJO, I.

Rev. MOPU (1990), núm. 377, 85-88, esp., bibl. ITGE.

* Cooperación internacional, Planificación regional, Pirineos españoles, España, Francia.

901644. **Informática y medio ambiente.** JARAMILLO, A.

Rev. MOPU (1990), núm. 379, 54-60, esp., bibl. ITGE.

* Ordenador, Protección medio ambiente, Estudio impacto medio, Legislación, Planificación.

901645. **Recuperación del espacio público costero.** RODRIGUEZ, J. I.

Rev. MOPU (1990), núm. 379, 68-73, esp., bibl. ITGE.

* Protección medio ambiente, Línea costa, Legislación, Política Estado, España.

901646. **Diques sinusoidales.** COPEIRO DEL VILLAR, E.

Rev. obras públicas (1989), núm. 3.285, 795-810, 11 ref., esp., bibl. ITGE.

* Rompeolas, Dique de contención, Hidráulica, Oleaje.

901647. **Recuperar la costa.** FERRER MARSAL, J.

Rev. obras públicas (1989), núm. 3.285, 839-843, esp., bibl. ITGE.

* Urbanización, Utilización terreno, Línea costa, Legislación.

901649. **Las grandes presas del río Colorado.** BERGA, L.

Rev. obras públicas (1990), núm. 3.289, 31-44, 24 ref., esp., bibl. ITGE.

* Río, Cañón, Río Colorado, Presa arqueada, Aliviadero, Caudal río, Control eléctrico, Recursos agua, Colorado.

901655. **Ayuntamientos y medio ambiente.** Roc Maquina (1990), núm. 11, 59-61, esp., bibl. ITGE.

* Legislación, Protección medio ambiente, Navarra.

901656. **Factores y principios de la compactación.** Rocas miner. (1990), núm. 220, 76-89, esp., bibl. ITGE.

* Compactación, Mecánica suelo, Humedad suelo, Granulometría, Ensayo carga, Ensayo laboratorio, Ensayo «in situ».

901660. **Mediciones de vigilancia en obras civiles.** DELGADO, J.

Topogr. Cartogr. (1989), vol. 6, núm. 35, 50-53, 11 ref., esp., bibl. ITGE.

* Obra civil, Medida en el suelo, Geodesia, Previsión.

901670. **Bases para la ordenación del Territorio de Andalucía.** CONSEJO DE OBRAS PUBL. Y TRANSP. JUNTA DE ANDALUCÍA.

241 pp., esp., bibl. ITGE.

* Planificación regional, Planificación urbana, Utilización terreno, Andalucía.

901671. **Directrices regionales del litoral de Andalucía.** CONSEJO DE OBRAS PUBL. Y TRANSP. JUNTA DE ANDALUCÍA.

210 pp., esp., bibl. ITGE.

* Planificación regional, Estudio medio, Medio litoral, Línea costa, Andalucía.

901687. **Los puertos andaluces y la ordenación del territorio.** CONSEJO DE OBRAS PUBL. Y TRANSP. JUNTA DE ANDALUCÍA.

100 pp., esp., bibl. ITGE.

* Planificación regional, Utilización terreno, Puerto, Andalucía.

PALEONTOLOGIA: VERTEBRADOS

901673. **Huellas fósiles de dinosaurios de La Rioja. Yacimientos de Valdecevillo, La Senoba y de la Virgen del Campo.** CASANOVAS, M. L.; FERNANDEZ ORTEGA, A.; PEREZ LORENTE, F., y SANTAFE, J. V.

Inst. Est. Riojanos (1989), 190 pp., 44 ref., esp., bibl. ITGE.

* Ichnites, Pista, Fauna reptil, Dinosaurio, Morfología, Valanginiense, Hauteriviense, Provincia Logroño.

PALEONTOLOGIA: INVERTEBRADOS

901696. **Fauna al microscopio.** MATEU, G.

Un viaje a la Antártida (1990), 91-99, 14 ref., esp., bibl. ITGE.

* Fauna foraminíferos, Paleoambiente, Antártico.

TECTONICA

901676. **La terminación estructural occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica.** CAMARA, P.

Libro homenaje a Rafael Soler (1989), 27-35, 27 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Sondeo, Perfil sísmico vertical, Tectónica imbricada, Cabalgamiento, Escama tectónica, Cuenca sedimentaria, Formación rift, Compresión tectónica, Cretácico Inf., Provincia Santander, Región Cantábrica.

901677. **Para una interpretación cinemática de la génesis de la Cuenca Catalano-Balear: Datos estructurales de sus márgenes emergidos.** FONTBOTE, J. M.; GUIMERA, J.; ROCA, E.; SABAT, F., y SANTANACH, P.

Libro homenaje a Rafael Soler (1989), 37-51, 81 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Cuenca marginal, Cinemática, Falla horizontal, Diacronismo, Extensión tectónica, Fosa tectónica, Modelo, Oligoceno, Mioceno, Baleares, Región Valencia, Cadena Costero Catalana.

901681. **Ideas sobre la geología estructural del oriente de Colombia y su relación con los campos de petróleo.** MARTINEZ DEL OLMO, W.

Libro homenaje a Rafael Soler (1989), 97-104, 15 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Tectónica encajante, Compresión tectónica, Extensión tectónica, Falla, Cabalgamiento, Pliegue, Trampa, Campo hidrocarburo, Colombia.

901683. **Diapirismo del Triás salino en el Dominio Cántabro-Navarro.** SERRANO, A.; MARTINEZ DEL OLMO, W., y CAMARA, P.

Libro homenaje a Rafael Soler (1989), 115-121, 9 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Tectónica salífera, Diapirismo, Evaporita, Cinemática, Mapa isopacas, Triás, Región Cantábrica.

901685. **Aplicación del análisis estadístico de los registros de buzamientos a la definición de estructuras.** VILLALOBOS, L., y RUIZ GIRELA, R.

Libro homenaje a Rafael Soler (1989), 137-146, 3 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Método estadístico, Buzamientos matemáticos, Corte sondeo, Geología estructural, Buzamiento, Dirección, Pliegue, Falla, Histograma.

901686. **A thrust tectonic interpretation of the Guadarrama Mountains, Spanish Central System.** WARBURTON, J., y ALVAREZ, C.

Libro homenaje a Rafael Soler (1989), 147-156, 18 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Tectónica zócalo, Levantamiento, Cabalgamiento, Manto Globo, Acortamiento corteza, Sierra de Guadarrama, Hercínico Centro.

901694. **Geología del Continente blanco.** SANZ, J. L.

Un viaje a la Antártida (1990), 49-67, 6 ref., esp., bibl. ITGE.

* Gondwana, Deriva continental, Fondo marino, Plataforma polar, Arco insular, Zona subducción, Microplaca, Antártico.

HIDROLOGIA. HIDROGEOLOGIA

901606. **Consideraciones al balance hídrico.** JOVER, F.

Ing. civ. (1990), núm. 74, 87-90, 2 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Balance agua suelo, Infiltración, Precipitación atmosférica, Ecuación matemática.

901625. **Main induced changes in rainfall-runoff relationship for a mountainous watershed.** BEN-ZVI, A., y LANGERMAN, A.

Pirineos (1989), núm. 134, 9-22, 7 ref., ing., res. fr., esp., bibl. ITGE.

* Agua lluvia, Escorrentía, Acción hombre, Divisoria de agua, Variación anual, Regresión estadística, Israel.

901629. **Sequía extraordinaria.** GENE, J. B.

Prot. civ. (1990), núm. 6, 13-15, esp., bibl. ITGE.

* Recurso agua, Sequía, Agua disponible, Almacenamiento agua, Cataluña.

901630. **Sed en el País Vasco.** BRAVO, G.

Prot. civ. (1990), núm. 6, 16-17, esp., bibl. ITGE.

* Recurso agua, Sequía, Agua disponible, Almacenamiento agua, País Vasco.

901642. **Casi mil presas regulan los ríos españoles.** RODRIGUEZ, J. I.

Rev. MOPU (1990), núm. 337, 58-64, esp., bibl. ITGE.

* Presa, Recurso agua, Capacidad almacenamiento, Histórico, España.

901650. **Un gran proyecto dormido.** LAFUENTE, E.

Rev. obras públicas (1990), núm. 3.289, 45-49, esp., bibl. ITGE.

* Proyecto, Gestión recursos agua, Agua disponible, Síntesis bibliográfica, Río Ebro, Cataluña.

901669. **Análisis de calidad de aguas 1988-89.** DIRECCION GENERAL DE OBRAS HIDRAULICAS. MOPU.

515 pp., esp., bibl. ITGE.

* Hidroquímica, Agua superficie, Río, Calidad agua, España.

901698. **Efectos y evolución de sustancias contaminantes producida por acción antrópica.** MONTSERRAT, F. X.

Univ. Autón. Barcelona (1990), 407 pp., 24 ref., esp., bibl. ITGE.

* Tesis doctoral, Contaminante, Acción hombre, Acuífero, Recarga acuífero, Lixiviación, Hidroquímica, Calidad agua, Vertedero, Residuo sólido, Residuo urbano, Abono, Programa ordenador, Provincia Gerona.

PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

901675. **La serie de talud urgoniano de Ea, Bizkaia: Caracteres sedimentológicos e implicaciones paleogeográficas.** AGUIRREZABALA, L. M., y GARCIA MONDEJAR, J.

Libro homenaje a Rafael Soler (1989), 15-25, 16 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Plataforma carbonatada, Medio talud marino, Unidad estratigráfica, Discontinuidad, Flysch, Slumping, Paleogeografía, Urgoniense, Barremiense, Aptiense, Albiense, Provincia Vizcaya.

901678. **Sistemas deposicionales, facies y evolución tectonoestratigráfica de la cubeta pérmica de Peña Labra-Peña Sagra (Borde occidental de la Cuenca Vasco-Cantábrica, Cantabria y Palencia).** GARCIA MONDEJAR, J.; PUJALTE, V.; ROBLES, S.; CASTRO, J., y VALLES, J.

Libro homenaje a Rafael Soler (1989), 53-65, 10 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Paleografía, Cuenca sedimentaria, Paleorrelieve, Bloque tectónico bascular, Litofacies, Sedimentación fluvial, Abanicos fluviales, Paleocorriente, Discontinuidad, Falla, Pérmico, Región Cantábrica, Provincias Santander, Palencia.

901684. **Estructura del sistema turbidítico de la Formación Arenas del Guadalquivir, Neógeno del Valle del Guadalquivir.** SUAREZ ALBA, J.; MARTINEZ DEL OLMO, W.; SERRANO, A., y LERET, G.

Libro homenaje a Rafael Soler (1989), 123-136, 5 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Perfil sísmico vertical, Modelo, Turbiditas, Paleocorriente, Corriente turbiditas, Paleogeografía, Neógeno, Cuenca Guadalquivir.

YACIMENTOLOGIA DE SUSTANCIAS NO METALICAS

901620. **El silicio amorfo. Sus aplicaciones.** GUTIERREZ GARCIA, M. T.

Mundo electrón. (1990), núm. 207, 115-123, 30 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Silicio, Materia amorfa, Sustancia útil, Propiedad físico-química, Propiedad eléctrica.

901652. **Otras rocas ornamentales de España.** CORRAL, F. G.

Roc. Máquina (1990), núm. 11, 15-17, esp., bibl. ITGE.

* Material ornamentación, Sustancia útil, Arenisca, Alabastro, Cuarzo, Inventario, Piedra de construcción, España.

901654. **La piedra en la ciudad.** RODRIGUEZ BLANCO, M.

Roc. Máquina (1990), núm. 11, 43-47, esp., bibl. ITGE.

* Piedra de construcción, Material ornamentación, Edificio, Histórico, Mármol, Granito, Producción, Mundo.

901689. **Piedras naturales. Anuario 89-90.**

Roc. Máquina, S. A., 494 pp., esp., bibl. ITGE.

* Inventario, Material ornamentación, Piedra de construcción, España.

901690. **Granitos de España.**

Piedra Naturales. Anuario 89-90, 349-375, esp., bibl. ITGE.

* Inventario, Granito, Piedra de construcción, Material ornamentación, Propiedad físico-química, España.

901691. **Mármoles de España.**

Piedras Naturales. Anuario 89-90, 377-428, esp., bibl. ITGE.

* Inventario, Mármol, Caliza, Arenisca, Piedra de construcción, Material ornamentación, Propiedad físico-química, España.

901692. **Pizarras de España.**

Piedras Naturales. Anuario 89-90, 429-449, esp., bibl. ITGE.
* Inventario, Pizarra, Piedra de construcción, Material ornamentación, Propiedad físico-química, España.

CARBON901624. **Peat-bog acumation rate in the Andes of Tierra del Fuego and Patagonia (Argentina y Chile) during the last 43.000 years.** RABASSA, J.; HEUSSER, C. J., y CORONATO, A.

Pirineos (1989), núm. 133, 113-122, 9 ref., ing., res. esp., fr., bibl. ITGE.

* Turbera, Consolidación, Proporción material sedimentado, Acción climática, Materia orgánica, Cuaternario, América del Sur, Argentina, Chile.

GEOFISICA901602. **El terremoto peninsular del 24 de agosto de 1356.** JUSTO, J. L., y GENTIL, P.

Ing. civ. (1990), núm. 74, 34-40, 12 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Terremoto, Histórico, Epicentro, Intensidad sísmica, Magnitud sísmica, Síntesis bibliográfica, Provincias Córdoba, Sevilla.

9016335. **Génesis y proceso de ruptura del terremoto del 3 de marzo de 1985.** BARRIENTOS, S. E., y KAUSEL, E.

Rev. geofis. (1990), vol. 46, núm. 1, 3-18, 34 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Terremoto, Fenómeno precursor, Tsunami, Intensidad sísmica, Epicento, Sismograma, Falla, Histórico, Valparaíso, Santiago, Chile.

901636. **Actividad sísmica en la zona litoral de Cataluña.** SUSAGNA, T.; OLIVERA, C., y ROCA, A.

Rev. geofis. (1990), vol. 46, núm. 1, 25-32, 13 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

* Sismicidad, Línea costa, Medio litoral, Hipocentro, Falla inversa, Estudio caso, Cataluña.

901637. **Detailed configuration of intermediate seismicity in the Urancea region.** TRIFU, C. I.

Rev. geofis. (1990), vol. 46, núm. 1, 33-40, 13 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Sismicidad, Sismo intermedio, Magnitud sísmica, Epicentro, Hipocentro, Histograma, Cadena Cárpatos, Rumanía.

901638. **Characteristic of the intermediate depth micro-seismicity in Urancea region.** TRIFU, C. I.; RANDULIAN, M., y POPESCU, E.

Rev. geofis. (1990), vol. 46, núm. 1, 75-82, 13 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Sismo intermedio, Microsismo, Profundidad, Magnitud

sísmica, Frecuencia, Falla, Histograma, Ecuación matemática, Cadena Cárpatos, Rumanía.

901639. **An attempt of joint inversion of Rayleigh wave phase and group velocities in Iberia.** CORCHETE, V.; BADAL, J.; PAYO, G.; CANAS, J. A.; PUJADES, L., y SERON, F. J.

Rev. geofis. (1990), vol. 46, núm. 1, 83-96, 35 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

* Velocidad fase, Dispersión onda, Onda Rayleigh, Filtro multicanal, Deconvolución, Problema inverso, Mohorovicic, Astenosfera, Península Ibérica.

901661. **Diseño de Redes geodésicas.** ARAYA, J. H.

Topogr. Cartogr. (1989), vol. 6, núm. 35, 56-59, 4 ref., esp., bibl. ITGE.

* Red geodésica, Modelo matemático, Costa Rica.

901662. **La línea ecuatorial y la cartografía.** LOPEZ, G.

Topogr. Cartogr. (1989), vol. 6, núm. 35, 62-69, 5 ref., esp., bibl. ITGE.

* Geoide, Coordenadas geodésicas, Proyección UTM, Zona ecuatorial.

901663. **Historia y perspectivas de la red geodésica en Honduras.** MEZA, O.

Topogr. Cartogr. (1989), vol. 6, núm. 35, 80-81, esp., bibl. ITGE.

* Coordenadas geodésicas, Red geodésica, Ecuación matemática, Histórico, Perspectiva, Honduras.

ENERGIA901619. **Memoria HUNOSA 1989.**

73 pp., esp., bibl. ITGE.

* Informe anual, Sociedad del Estado, Carbón, Producción, España.

ECONOMIA MINERA901616. **Memoria CAMPSA 1989.**

168 pp., 2 disquettes, esp., bibl. ITGE.

* Informe de actividad, Informe anual, Sociedad del Estado, Petróleo, España.

901617. **El petróleo en la CEE: Suplemento de la Memoria CAMPSA 1989.**

1-58, esp., bibl. ITGE.

* Petróleo, CEE, Legislación, Producción, Mercado, Precio, España.

901653. **El mercado exterior durante 1989.**

Roc Máquina (1990), núm. 11, 29-32, esp., bibl. ITGE.

* Granito, Pizarra, Mármol, Mercado, Valor importación, Valor exportación, España.

INDICE DE MATERIAS

Tomo 102

Páginas

GEOLOGIA

- M.^a D. GIL: Caracterización paleontológica del Cantábrico de la zona de Ossa-Morena (Z.O.M.) y sus paleorrelaciones con Marruecos y Centroeuropa ... 3
- R. PASTOR: La colección de Diatomeas del Instituto Tecnológico GeoMinero de España ... 19
- J. A. SANTOS: Análisis sedimentológico y secuencias carbogenéticas en un sector de la parte oriental de la Unión Sobia-Bodón (Asturias, Cordillera Cantábrica) ... 93
- M. NAVIDAD y A. BARNOLAS: El magmatismo (Ortoneises y volcanismo del Ordovícico Superior) del Paleozoico de los Catalánides ... 187
- A. MARCOS: Aportaciones al conocimiento de la evolución geológica reciente del Bajo Gállego en las proximidades de Zaragoza ... 201
- J. BAHAMONDE y C. NUÑO: Características geológicas del sinclinal de Santa María de Redondo (Zona Cantábrica, Palencia) ... 219
- A. APARICIO, J. M. BRELL y B. GUARAS: El metamorfismo hercínico de la Sierra de la Demanda (provincias de Logroño y Burgos) ... 240
- O. APALATEGUI y R. SANCHEZ: Síntesis y correlación de unidades en el borde meridional de la Zona de Ossa-Morena (Z.O.M.): Implicaciones geológicas ... 339
- J. ESTALRICH: El programa «COLUMNNA» para el dibujo automático de columnas estratigráficas ... 348
- B. ABALOS, L. EGUILUZ y J. I. GIL: Evolución tectonometamórfica del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba. I. La Unidad Para-Autóctona ... 491
- A. GARCIA-CORTES, H. MANSILLA e I. QUINTERO: Puesta de manifiesto de la Unidad Olistostrómica del Mioceno Medio, en el Sector Oriental de las Cordilleras Béticas (provincias de Jaén, Almería, Murcia y Alicante) ... 524
- B. ABALOS, L. EGUILUZ y J. I. GIL: Evolución tectonometamórfica del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba. II. Las unidades alóctonas y trayectorias PTt ... 617
- J. GARCIA SANSEGUNDO: Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte I) ... 781
- D. NAVARRO VAZQUEZ: Cabalgamientos hercínicos en la Unidad de Herrera (Rama Oriental del Macizo Paleozoico de la Cordillera Ibérica) ... 830
- MINERIA**
- A. RUBIO y F. J. GARCIA: Procesos biotecnológicos en mineralurgia ... 108

	Páginas
G. OVEJERO: Mineralizaciones Zn-Pb ordovícicas del anticlinorio de Bossot. Yacimientos de Liat y Victoria. Valle de Arán. Pirineo (España)	356
A. E. FERRER: Estudio metalográfico del yacimiento polimetálico de Sant Martí Sacalm (macizo de Les Guilleries, provincia de Girona)	672
A. CONCHA, R. OYARZUN, R. LUNAR y J. SIERRA: Biolixiviación en columnas de sulfuros polimetálicos del yacimiento de Aznalcóllar (Faja Pirítica Ibérica)	838
 AGUAS SUBTERRANEAS	
R. FERNANDEZ-RUBIO: Fábrica de uranio de Andújar (Jaén). Clausura del dique de estériles	119
F. X. MONTSERRAT: Evolución y comportamiento de sustancias nitrogenadas procedentes de fertilizantes agrícolas en un acuífero libre	247
A. NAVARRO ALVARGONZALEZ: Las sequías. Repercusiones especialmente en aguas subterráneas	378
J. MAS, J. TRILLA y M. ^a L. VALLS: La problemática de la datación mediante ¹⁴ C en precipitados subaéreos de carbonatos. Caso de los travertinos de Llorá (Girona).	536
J. TRILLA y J. ESTALRICH: Un modelo de evaluación de la capacidad reguladora de un acuífero	550
X. FONT, y A. NAVARRO FLORES: Aplicación de métodos estadísticos uni- y multivariantes a estudios de contaminación. El caso de la Cubeta de La Llagosta	685
J. TRILLA y J. ESTALRICH: La naturaleza del problema de la gestión de sistemas hídricos superficiales y subterráneos	850
J. G. YELAMOS y F. I. VILLARROYA GIL: Variación de la piezometría y el caudal en cuatro explotaciones de aguas subterráneas en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid	857
 MINERIA GEOAMBIENTAL	
J. F. LLAMAS, E. CHACON y E. DE MIGUEL: Metales pesados en la atmósfera de Madrid	135
B. MARISCAL: Características ambientales durante el Holoceno en las Pilas de Mojácar. Análisis policeno en la Cuenca del río Aguas	394
B. MARISCAL: Fluctuación climática y variación de la vegetación durante el período Subboreal. Análisis polínico del Cerro de las Cuartillas. Mojácar (Almería)	556
B. MARISCAL: Características climáticas y ambientales durante el Holoceno en Alizaraque. Análisis polínico de los sedimentos fluviales de Villaricos (Almería)	726
M. HERNANDEZ RUIZ y F. J. AYALA-CARCEDO: Evolución reciente anual e hiperanual del nivel medio relativo del mar. Estación mareográfica Alicante I (1874-1987)	906

	Páginas
GEOFISICA	
J. L. PLATA TORRES: Resultados y documentación disponible del Proyecto ECORS-PIRINEOS	857
 GEOQUIMICA	
S. DEL BARRIO: Estudio e investigación de un espectrómetro de emisión plasma ICP aplicado a la prospección geoquímica multielemental. Parte I: Contribución del ICP al análisis de materiales geológicos	148
S. DEL BARRIO: Estudio e investigación de un espectrómetro de emisión plasma ICP aplicado a la prospección geoquímica multielemental. Parte II: Selección de líneas analíticas: Estudio de interferencias	260
S. DEL BARRIO: Estudio e investigación de un espectrómetro de emisión plasma ICP aplicado a la prospección geoquímica multielemental. Parte III: Optimización de parámetros instrumentales. Corrección e interferencias. Aplicaciones	400
A. APARICIO, J. M. MITJAVILA, V. ARAÑA e I. M. VILA: La edad del volcanismo de las Islas Columbreta Grande y Alborán (Mediterráneo Occidental)	562
S. DEL BARRIO, R. BÉNITO y F. J. VALLE: Contribución del binomio horno de microondas-espectrometría de plasma al análisis de suelos	706
 GEOTECNIA	
F. LOPEZ: Estudio experimental sobre el hinchamiento de los suelos que contienen sales solubles	438
V. G. RUIZ DE ARGANDOÑA, A. MARTINEZ y M. MONTOTO: Determinación experimental de la permeabilidad de la roca matriz o «intact rock»: Factores condicionantes	714
 ROCAS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES	
B. CALVO, J. MENDUIÑA y J. L. PARRA: Ensayo metodológico para el estudio de las propiedades de granitos meteorizados	295
R. M. ESBERT, C. GROSSI, J. ORDAZ y F. J. ALONSO: La conservación de la piedra de la Casa Milá («La Pedrera» de Gaudí, Barcelona). Pruebas preliminares	446
 ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS	
M. SUAREZ, J. A. DIEZ, M. AÑORBE, J. NAVARRETE y J. M. MARTIN: Mineralogía de arcillas en el Sector Central de la Cuenca del Duero	308
M. AMICE, J. L. BOUCHEZ, A. ARANGUREN, F. ALVAREZ y J. L. VIGNERESSE: El batolito granítico de Cabeza de Araya (Extremadura): comparación de sus estructuras magmáticas y magnéticas	455

	Páginas
J. M. TENA y J. MATEO: El análisis RPE (Resonancia Paramagnética Electrónica) en la discriminación de cuarzos de génesis distinta	571
J. GONZALEZ DEL TANAGO: Las pegmatitas graníticas de Sierra Albarrana (Córdoba, España): Mineralizaciones de berilio	578
A. APARICIO, J. M. BRELL, R. GARCIA, J. TENA y J. GOMEZ: El metamorfismo de bajo grado en el Paleozoico del sector central de la Cordillera Ibérica	735
M. POZO, J. CUEVAS, A. MORENO, R. REDONDO y S. LEGUEY: Caracterización de arcillas magnéticas bentoníticas en la zona de Yuncos (Toledo)	893
INFORMACION	
Noticias y Notas bibliográficas (número 1)	172
J. M. LOPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XVIII: Pedro Subiela	319
C. J. DABRIO: Resumen de las actividades del Grupo Español del Terciario con motivo de su primer Congreso (CONGET'91)	324
Noticias y Notas bibliográficas (Número 2)	325
C. ARANZADI: La actualidad minera ante el mercado interior europeo	472
Noticias y Notas bibliográficas (Número 3)	477
Noticias y Notas bibliográficas (Número 4)	604
150 Aniversario Lucas Mallada (1841-1991)	748
Minería e industrias de la construcción ante el Mercado Unico de 1993	758
Noticias y Notas bibliográficas (Número 5)	762
M. LUCENA GIRALDO y M. DEL MAR FLORES: La minería en las Relaciones e Informes de los virreyes y gobernantes de Nueva Granada (1729-1818)	905
Notas bibliográficas (Número 6)	955

INDICE DE AUTORES

Tomo 102

	Páginas
ABALOS, B.; EGUILUZ, L., y GIL, J. I.: Evolución tectonometamórfica del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba. I. La Unidad Para-Autóctona	491
ABALOS, B.; EGUILUZ, L., y GIL, J. I.: Evolución tectonometamórfica del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba. II. Las unidades alóctonas y trayectorias PTt	617
ALONSO, F. J.; ESBERT, R. M.; GROSSI, C., y ORDAZ, J.: La conservación de la piedra de la Casa Milá («La Pedrera» de Gaudí, Barcelona). Pruebas preliminares ...	446
ALVAREZ, F.; VIGNERESSE, J. L.; AMICE, M.; BOUCHEZ, J. L., y ARANGUREN, A.: El batolito granítico de Cabeza de Araya (Extremadura): comparación de sus estructuras magmáticas y magnéticas	455
AMICE, M.; BOUCHEZ, J. L.; ARANGUREN, A.; ALVAREZ, F., y VIGNERESSE, J. L.: El batolito granítico de Cabeza de Araya (Extremadura): comparación de sus estructuras magmáticas y magnéticas	455
AÑORBE, M.; NAVARRETE, J.; MARTIN, J. M.; SUAREZ, M., y DIEZ, J. A.: Mineralogía de arcillas en el Sector Central de la Cuenca del Duero	308
APALATEGUI, O., y SANCHEZ, R.: Síntesis y correlación de unidades en el borde meridional de la Zona de Ossa-Morena (Z.O.M.): Implicaciones geológicas	339
APARICIO, A.; BRELL, J. M., y GUARAS, B.: El metamorfismo hercínico de la Sierra de la Demanda (provincias de Logroño y Burgos)	240
APARICIO, A.; BRELL, J. M.; GARCIA, R.; TENA, J., y GOMEZ, J.: El metamorfismo de bajo grado en el Paleozoico del sector central de la Cordillera Ibérica	735
APARICIO, A.; MITJAVILLA, J. M.; ARAÑA, V., y VILA, I. M.: La edad del volcanismo de las Islas Columbete Grande y Alborán (Mediterráneo Occidental)	562
ARANGUREN, A.; ALVAREZ, F.; VIGNERESSE, J. L.; AMICE, M., y BOUCHEZ, J. L.: El batolito granítico de Cabeza de Araya (Extremadura): comparación de sus estructuras magmáticas y magnéticas	455
ARANZADI, C.: La actualidad minera ante el mercado interior europeo	472
ARAÑA, V.; VILA, I. M.; APARICIO, A., y MITJAVILA, J. M.: La edad del volcanismo de las Islas Columbete Grande y Alborán (Mediterráneo Occidental)	562
AYALA-CARCEDO F. J., y HERNANDEZ RUIZ, M.: Evolución reciente anual e hiperanual del nivel medio relativo del mar. Estación mareográfica Alicante I (1874-1987) ...	906
BAHAMONDE, J., y NUÑO, C.: Características geológicas del sinclinal de Santa María de Redondo (Zona Cantábrica, Palencia)	219
BARNOLAS, A., y NAVIDAD, M.: El magmatismo (Ortoneises y volcanismo del Ordovícico Superior) del Paleozoico de los Catalánides	187

	Páginas
BARRIO, S. DEL: Estudio e investigación de un espectrómetro de emisión plasma ICP aplicado a la prospección geoquímica multielemental. Parte I: Contribución del ICP al análisis de materiales geológicos	148
BARRIO, S. DEL: Estudio e investigación de un espectrómetro de emisión plasma ICP aplicado a la prospección geoquímica multielemental. Parte II: Selección de líneas analíticas: Estudio de interferencias	260
BARRIO, S. DEL: Estudio e investigación de un espectrómetro de emisión plasma ICP aplicado a la prospección geoquímica multielemental. Parte III: Optimización de parámetros instrumentales. Corrección e interferencias. Aplicaciones	400
BARRIO, S. DEL; BENITO, R., y VALLE, F. J.: Contribución del binomio horno de microondas-espectrometría de plasma al análisis de suelos	706
BENITO, R.; BARRIO, S. DEL, y VALLE, F. J.: Contribución del binomio horno de microondas-espectrometría de plasma al análisis de suelos	706
BOUCHEZ, J. L.; ARANGUREN, A.; ALVAREZ, F.; VIGNERESSE, J. L., y AMICE, M.: El batolito granítico de Cabeza de Araya (Extremadura): comparación de sus estructuras magmáticas y magnéticas	455
BRELL, J. M.; GUARAS, B., y APARICIO, A.: El metamorfismo hercínico de la Sierra de la Demanda (provincias de Logroño y Burgos)	240
BRELL, J. M.; GARCIA, R.; TENA, J.; GOMEZ, J., y APARICIO, A.: El metamorfismo de bajo grado en el Paleozoico del sector central de la Cordillera Ibérica	735
CALVO, B.; MENDUIÑA, J., y PARRA, J. L.: Ensayo metodológico para el estudio de las propiedades de granitos meteorizados	295
CHACON, E.; MIGUEL, E. DE, y LLAMAS, J. F.: Metales pesados en la atmósfera de Madrid	135
CONCHA, A.; OYARZUN, R.; LUNAR, R., y SIERRA, J.: Biolixiviación en columnas de sulfuros polimetálicos del yacimiento de Aznalcóllar (Faja Pirítica Ibérica)	838
CUEVAS, J.; LEGUEY, S.; MORENO, A.; POZO, M., y REDONDO, R.: Caracterización de arcillas magnéticas bentoníticas en la zona de Yuncos (Toledo)	893
DABRIO, C. J.: Resumen de las actividades del Grupo Español del Terciario con motivo de su primer Congreso (CONGET'91)	324
DIEZ, J. A.; AÑORBE, M.; NAVARRETE, J.; MARTIN, J. M., y SUAREZ, M.: Mineralogía de arcillas en el Sector Central de la Cuenca del Duero	308
EGUILUZ, L.; GIL, J. I., y ABALOS, B.: Evolución tectonometamórfica del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba. I. La Unidad Para-Autóctona	491
EGUILUZ, L.; GIL, J. I., y ABALOS, B.: Evolución tectonometamórfica del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba. II. Las unidades alóctonas y trayectorias PTt.	617
ESBERT, R. M.; GROSSI, C.; ORDAZ, J., y ALONSO, F. J.: La conservación de la piedra de la Casa Milá («La Pedrera» de Gaudí, Barcelona). Pruebas preliminares	446
ESTALRICH, J.: El programa «COLUMNNA» para el dibujo automático de columnas estratigráficas	348

	Páginas
ESTALRICH, J., y TRILLA, J.: Un modelo de evaluación de la capacidad reguladora de un acuífero	550
ESTALRICH, J., y TRILLA, J.: La naturaleza del problema de la gestión de sistemas hídricos superficiales y subterráneos	850
FERNANDEZ-RUBIO, R.: Fábrica de uranio de Andújar (Jaén). Clausura del dique de estériles	119
FERRER, A. E.: Estudio metalográfico del yacimiento polimetálico de Sant Martí Sacalm (macizo de Les Guilleries, provincia de Girona)	672
FLORES, M. DEL MAR, y LUCENA GIRALDO, M.: La minería en las Relaciones e Informes de los virreyes y gobernantes de Nueva Granada (1729-1818)	905
FONT, X., y NAVARRO FLORES, A.: Aplicación de métodos estadísticos uni- y multivariantes a estudios de contaminación. El caso de la Cubeta de La Llagosta	685
GARCIA, F. J., y RUBIO, A.: Procesos biotecnológicos en mineralurgia	108
GARCIA, R.; TENA, J.; GOMEZ, J.; APARICIO, A., y BRELL, J. M.: El metamorfismo de bajo grado en el Paleozoico del sector central de la Cordillera Ibérica	735
GARCIA-CORTES, A.; MANSILLA, H., y QUINTERO, I.: Puesta de manifiesto de la Unidad Olistostrónica del Mioceno Medio, en el Sector Oriental de las Cordilleras Béticas (provincias de Jaén, Almería, Murcia y Alicante)	524
GARCIA SANSEGUNDO, J.: Estratigrafía y estructura de la Zona Axial pirenaica en la transversal del Valle de Arán y de la Alta Ribagorça (Parte I)	781
GIL, M.ª D.: Caracterización paleontológica del Cantábrico de la zona de Ossa-Morena (Z.O.M.) y sus paleorrelaciones con Marruecos y Centroeuropa	3
GIL, J. I.; ABALOS, B., y EGUILUZ, L.: Evolución tectonometamórfica del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba. I. La Unidad Para-Autóctona	491
GIL, J. I.; ABALOS, B., y EGUILUZ, L.: Evolución tectonometamórfica del Corredor Blastomilonítico de Badajoz-Córdoba. II. Las unidades alóctonas y trayectorias PTt.	617
GOMEZ, J.; APARICIO, A.; BRELL, J. M.; GARCIA, R., y TENA, J.: El metamorfismo de bajo grado en el Paleozoico del sector central de la Cordillera Ibérica	735
GONZALEZ DEL TANAGO, J.: Las pegmatitas graníticas de Sierra Albarrana (Córdoba, España): Mineralizaciones de berilio	578
GROSSI, C.; ORDAZ, J.; ALONSO, F. J., y ESBERT, R. M.: La conservación de la piedra de la Casa Milá («La Pedrera» de Gaudí, Barcelona). Pruebas preliminares	446
GUARAS, B.; APARICIO, A., y BRELL, J. M.: El metamorfismo hercínico de la Sierra de la Demanda (provincias de Logroño y Burgos)	240
HERNANDEZ RUIZ, M., y AYALA-CARCEDO, F. J.: Evolución reciente anual e hiperanual del nivel medio relativo del mar. Estación mareográfica Alicante I (1874-1987)	906
LEGUEY, S.; POZO, M.; CUEVAS, J.; MORENO, A., y REDONDO, R.: Caracterización de arcillas magnéticas bentoníticas en la zona de Yuncos (Toledo)	893

	Páginas
LLAMAS, J. F.; CHACON, E., y MIGUEL, E. DE: Metales pesados en la atmósfera de Madrid	135
LOPEZ, F.: Estudio experimental sobre el hinchamiento de los suelos que contienen sales solubles	438
LOPEZ DE AZCONA, J. M.: Mineros destacados del siglo XVIII: Pedro Subiela	319
LUCENA GIRALDO, M., y FLORES, M. DEL MAR: La minería en las Relaciones e Informes de los virreyes y gobernantes de Nueva Granada (1729-1818)	905
LUNAR, R.; CONCHA, A.; OYARZUN, R., y SIERRA, J.: Biolixiviación en columnas de sulfuros polimetálicos del yacimiento de Aznalcóllar (Faja Pirítica Ibérica)	838
MANSILLA, H.; QUINTERO, I., y GARCIA-CORTES, A.: Puesta de manifiesto de la Unidad Olistrostrómica del Mioceno Medio, en el Sector Oriental de las Cordilleras Béticas (provincias de Jaén, Almería, Murcia y Alicante)	524
MARCOS, A.: Aportaciones al conocimiento de la evolución geológica reciente del Bajo Gállego en las proximidades de Zaragoza	201
MARISCAL, B.: Características ambientales durante el Holoceno en las Pilas de Mojácar. Análisis policeno en la Cuenca del río Aguas	394
MARISCAL, B.: Fluctuación climática y variación de la vegetación durante el período Subboreal. Análisis polínico del Cerro de las Cuartillas. Mojácar (Almería)	556
MARISCAL, B.: Características climáticas y ambientales durante el Holoceno en Almizaraque. Análisis polínico de los sedimentos fluviales de Villaricos (Almería).	726
MARTIN, J. M.; SUAREZ, M.; DIEZ, J. A.; AÑORBE, M., y NAVARRETE, J.: Mineralogía de arcillas en el Sector Central de la Cuenca del Duero	308
MARTINEZ, A.; MONTOTO, M., y RUIZ DE ARGANDOÑA, V. G.: Determinación experimental de la permeabilidad de la roca matriz o «intact rock». Factores condicionantes	714
MAS, J.; TRILLA, J., y VALLS, M.ª L.: La problemática de la datación mediante ¹⁴ C en precipitados subaéreos de carbonatos. Caso de los travertinos de Llorá (Girona).	536
MATEO, J., y TENA, J. M.: El análisis RPE (Resonancia Paramagnética Electrónica) en la discriminación de cuarzos de génesis distinta	571
MENDUIÑA, J.; PARRA, J. L., y CALVO, B.: Ensayo metodológico para el estudio de las propiedades de granitos meteorizados	295
MIGUEL, E. DE; LLAMAS, J. F., y CHACON, E.: Metales pesados en la atmósfera de Madrid	135
MITJAVILLA, J. M.; ARAÑA, V.; VILA, I. M., y APARICIO, A.: La edad del volcanismo de las Islas Columbretes Grande y Alborán (Mediterráneo Occidental)	562
MONTOTO, M.; RUIZ DE ARGANDOÑA, V. G., y MARTINEZ, A.: Determinación experimental de la permeabilidad de la roca matriz o «intact rock». Factores condicionantes	714
MONTSERRAT, F. X.: Evolución y comportamiento de sustancias nitrogenadas procedentes de fertilizantes agrícolas en un acuífero libre	247

	Páginas
MORENO, A.; POZO, M.; CUEVAS, J.; REDONDO, R., y LEGUEY, S.: Caracterización de arcillas magnéticas bentónicas en la zona de Yuncos (Toledo)	893
NAVARRETE, J.; MARTIN, J. M.; SUAREZ, M.; DIEZ, J. A., y AÑORBE, M.: Mineralogía de arcillas en el Sector Central de la Cuenca del Duero	308
NAVARRO ALVARGONZALEZ, A.: Las sequías. Repercusiones especialmente en aguas subterráneas	378
NAVARRO FLORES, A., y FONT, X.: Aplicación de métodos estadísticos uni- y multivariantes a estudios de contaminación. El caso de la Cubeta de La Llagosta	685
NAVARRO VAZQUEZ, D.: Cabalgamientos hercínicos en la Unidad de Herrera (Rama Oriental del Macizo Paleozoico de la Cordillera Ibérica)	830
NAVIDAD, M., y BARNOLAS, A.: El magmatismo (Ortoneises y volcanismo del Ordovícico Superior) del Paleozoico de los Catalánides	187
NUÑO, C., y BAHAMONDE, J.: Características geológicas del sinclinal de Santa María de Redondo (Zona Cantábrica. Palencia)	219
ORDAZ, J.; ALONSO, F. J.; ESBERT, R. M., y GROSSI, C.: La conservación de la piedra de la Casa Milá («La Pedrera» de Gaudí, Barcelona). Pruebas preliminares	446
OVEJERO, G.: Mineralizaciones Zn-Pb ordovícicas del anticlinorio de Bossot. Yacimientos de Liat y Victoria. Valle de Arán. Pirineo (España)	356
OYARZUN, R.; CONCHA, A.; LUNAR, R., y SIERRA, J.: Biolixiviación en columnas de sulfuros polimetálicos del yacimiento de Aznalcóllar (Faja Pirítica Ibérica)	838
PARRA, J. L.; CALVO, B., y MENDUIÑA, J.: Ensayo metodológico para el estudio de las propiedades de granitos meteorizados	295
PASTOR, R.: La colección de Diatomeas del Instituto Tecnológico GeoMinero de España	19
PLATA TORRES, J. L.: Resultados y documentación disponible del Proyecto ECORS-PIRINEOS	875
POZO, M.; CUEVAS, J.; MORENO, A.; REDONDO, R., y LEGUEY, S.: Caracterización de arcillas magnéticas bentónicas en la zona de Yuncos (Toledo)	893
QUINTERO, I.; GARCIA-CORTES, A., y MANSILLA, H.: Puesta de manifiesto de la Unidad Olistrostrómica del Mioceno Medio, en el Sector Oriental de las Cordilleras Béticas (provincias de Jaén, Almería, Murcia y Alicante)	524
REDONDO, R.; POZO, M.; CUEVAS, J.; MORENO, A., y LEGUEY, S.: Caracterización de arcillas magnéticas bentónicas en la zona de Yuncos (Toledo)	893
RUBIO, A., y GARCIA, F. J.: Procesos biotecnológicos en mineralurgia	108
RUIZ DE ARGANDOÑA, V. G.; MARTINEZ, A., y MONTOTO, M.: Determinación experimental de la permeabilidad de la roca matriz o «intact rock»: Factores condicionantes	714
SANCHEZ, R., y APALATEGUI, O.: Síntesis y correlación de unidades en el borde meridional de la Zona de Ossa-Morena (Z.O.M.): implicaciones geológicas	339

	Páginas
SANTOS, J. A.: Análisis sedimentológico y secuencias carbogenéticas en un sector de la parte oriental de la Unión Sobia-Bodón (Asturias, Cordillera Cantábrica) ...	93
SIERRA, J.; CONCHA, A.; OYARZUN, R., y LUNAR, R.: Biolixiviación en columnas de sulfuros polimetálicos del yacimiento de Aznalcóllar (Faja Pirítica Ibérica)	838
SUAREZ, M.; DIEZ, J. A.; AÑORBE, M.; NAVARRETE, J., y MARTIN, J. M.: Mineralogía de arcillas en el Sector Central de la Cuenca del Duero	308
TENA, J. M., y MATEO, J.: El análisis RPE (Resonancia Paramagnética Electrónica) en la discriminación de cuarzos de génesis distinta	571
TENA, J.; GOMEZ, J.; APARICIO, A.; BRELL, J. M., y GARCIA, R.: El metamorfismo de bajo grado en el Paleozoico del sector central de la Cordillera Ibérica	735
TRILLA, J., y ESTALRICH, J.: Un modelo de evaluación de la capacidad reguladora de un acuífero	550
TRILLA, J., y ESTALRICH, J.: La naturaleza del problema de la gestión de sistemas hídricos superficiales y subterráneos	850
TRILLA, J.; VALLS, M. ^a L., y MAS, J.: La problemática de la datación mediante ¹⁴ C en precipitados subaéreos de carbonatos. Caso de los travertinos de Llorá (Girona).	536
VALLE, F. J.; BARRIO, S. DEL, y BENITO, R.: Contribución del binomio horno de microondas-espectrometría de plasma al análisis de suelos	706
VALLS, M. ^a L.; MAS, J., y TRILLA, J.: La problemática de la datación mediante ¹⁴ C en precipitados subaéreos de carbonatos. Caso de los travertinos de Llorá (Girona).	536
VIGNERESSE, J. L.; AMICE, M.; BOUCHEZ, J. L.; ARANGUREN, A., y ALVAREZ, F.: El batolito granítico de Cabeza de Araya (Extremadura): comparación de sus estructuras magmáticas y magnéticas	455
VILA, I. M.; APARICIO, A.; MITJAVILA, J. M., y ARAÑA, V.: La edad del volcanismo de las Islas Columbreta Grande y Alborán (Mediterráneo Occidental)	562
VILLARROYA GIL, F. I., y YELAMOS, J. G.: Variación de la piezometría y el caudal en cuatro explotaciones de aguas subterráneas en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid	857
YELAMOS, J. G., y VILLARROYA GIL, F. I.: Variación de la piezometría y el caudal en cuatro explotaciones de aguas subterráneas en el acuífero del Terciario detrítico de Madrid	857

Toda la correspondencia referente a las publicaciones
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio Ladrón de Guevara. Instituto Tecnológico GeoMinero de España

Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

TARJETA DE SUSCRIPCION AL BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

Boletín Geológico y Minero

Revista bimestral de geología, minería
y ciencias conexas

DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

Instituto Tecnológico GeoMinero de España

Ríos Rosas, 23 - 28003-Madrid, España

ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

Centro de Publicaciones del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo

Doctor Fleming, 7, 2.º - 28036-Madrid, España
Teléfono: 250 02 03

Suscrip. anual (6 núms.). Año 1991: 4.800 ptas.
Suscrip. anual (6 núms.). Año 1992: 5.280 ptas.

Nombre, Organismo o Empresa

Profesión

Dirección Teléfono

Ciudad (provincia) D. P.

País FIRMA

Fecha

BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

ACUSE DE RECIBO

HEMOS RECIBIDO
WE HAVE RECEIVED
NOUS AVONS RECU

NOS FALTA
WE ARE IN WANT OF
IL NOUS MANQUE

FECHA
DATE

FIRMA
SIGNATURE

NOMBRE
NAME
NOM

DIRECCION
ADDRESS
ADRESSE

ROGAMOS DEVUELVAN ESTE ACUSE DE RECIBO, NECESARIO PARA NUESTRO CONTROL, Y DIRIGIDO EXCLUSIVAMENTE A AQUELLOS CENTROS QUE RECIBEN ESTA PUBLICACION CON CARACTER GRATUITO EN REGIMEN DE INTERCAMBIO.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España

Finalidad:

Investigación, Desarrollo Tecnológico y Asistencia técnica en Geología, Minería y Disciplinas conexas

GEOLOGIA Y GEOFISICA



MAPA GEOLOGICO NACIONAL (MAGNA)
ESTUDIOS GEOLOGICOS Y CARTOGRAFIA TEMATICA
GEOFISICA Y GEOLOGIA DEL SUBSUELO
GEOLOGIA MARINA (FONDOS MARINOS)
TELEDETECCION APLICADA

RECURSOS MINERALES



METALOGENIA Y CARTOGRAFIA METALOGENETICA
GEOQUIMICA BASICA Y APLICADA
YACIMIENTOS MINERALES
EVALUACION DE RESERVAS E INVENTARIO DE RECURSOS

AGUAS SUBTERRANEAS



CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA
PROTECCION DE RECURSOS HIDROGEOLOGICOS
EVALUACION Y CONTROL DE ACUIFEROS SUBTERRANEOS
RECURSOS GEOTERMICOS

LABORATORIOS Y ENSAYOS



ANALISIS QUIMICOS Y MINERALOGICOS
ENSAYOS MINERALURGICOS Y GEOTECNICOS
CARACTERIZACION DE ROCAS MINERALES INDUSTRIALES
SONDEOS DE INVESTIGACION HIDROGEOLOGICA Y MINERA
ENSAYOS DE BOMBEO

INFORMACION, DOCUMENTACION Y BANCO DE DATOS



FONDOS DOCUMENTALES Y BASES DE DATOS
SISTEMAS DE INFORMACION Y COMUNICACIONES
CATASTRO MINERO
PUBLICACIONES

INGENIERIA GEOAMBIENTAL



RIESGOS GEOLOGICOS
RESTAURACION DEL MEDIO AMBIENTE MINERO
GEOTECNIA Y GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA
MEDIO AMBIENTE Y ORDENACION DEL TERRITORIO

DESARROLLO MINERO



PROCESOS Y TECNOLOGIAS
SEGURIDAD MINERA
NORMATIVA
ESTUDIOS DE ECONOMIA MINERA

MUSEO GEOMINERO

Sede Central:

c/ Ríos Rosas, 23. 28003 MADRID
Tel.: 441 65 00 – Fax: 442 62 16

Centro de Laboratorios:

c/ La Calera, 1 28760 TRES CANTOS (MADRID)
Tel.: 803 22 00



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO
SECRETARIA GENERAL DE LA ENERGIA Y RECURSOS MINERALES

