

Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

BIBLIOTECA

22 OCT 1997

boletín geológico y minero

VOLUMEN 108

Marzo - Abril 1997

NUMERO 2



Volumen 108

Número 2

Marzo-Abril 1997

boletín geológico y minero

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

22 OCT 1997



Sumario

Geología	A. ARRIBAS y M. ANTON: Los Carnívoros de los yacimientos pliocenos de La Higuieruelas y Piedrabuena (Ciudad Real, España)	3
	V. SANCHEZ CELA: La estructura circular de Azuara (Zaragoza). Origen endógeno versus impacto	13
Aguas Subterráneas	C. J. GAVILAN MORENO y J. M. MURILLO DIAZ: Metodología para la optimización de instalaciones de recarga superficial. Dimensionado de filtros de fondo. Aplicación a las instalaciones del río Oja	21
	L. REDONDO y J. REY: Acuíferos en granitos fracturados: Un ejemplo al suroeste de Bailén (Provincia de Jaén)	31
Ingeniería Geoambiental	M. FERRER GIJON, J. M. LOPEZ GARCIA, R. M. MATEOS RUIZ, R. MORALES GARCIA y A. RODRIGUEZ PEREA: Análisis de los desprendimientos rocosos que afectan a la cala de Banyalbufar (Mallorca)	39
Rocas Industriales y Ornamentales	J. P. MORAL CARDONA, J. M. GUTIERREZ MAS, A. J. GARCIA GUERRERO, A. SANCHEZ BELLON, J. J. MUÑOZ PEREZ y M. A. CABALLERO: Explotaciones de minerales y rocas industriales en los materiales neógenos de la zona occidental de la provincia de Cádiz	51
Estudio de Minerales y Rocas	A. APARICIO, R. GARCIA y J. M. BRELL: El metamorfismo de bajo y muy bajo grado de los materiales carboníferos del área hercínica de Sierra Morena	63
	A. LA IGLESIA, M. J. LISO y M. A. RODRIGUEZ: Caracterización mineralógica de la eritrina de Burguillos del Cerro (Badajoz)	77
Información	F. J. AYALA-CARCEDO: Medio físico y desarrollo en España. Una perspectiva histórica	81
	A. DIEZ HERRERO: La colección de minerales, rocas y fósiles de la Academia de Artillería de Segovia	99

DIRECCION Y ADMINISTRACION

Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid

Fax (91) 349 57 62

 Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



Ministerio de Medio Ambiente

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

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

EXPLICACION DE PORTADA

Construcciones sobre una plataforma litoral formada por las coladas históricas del volcán de Garachico (Garachico, Isla de Tenerife)

Foto: Félix Bellido (ITGE)

Depósito legal: M. 3.279 - 1958
ISSN 0366-0176
NIPO 241-97-001-8

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

LOS CARNIVOROS DE LOS YACIMIENTOS PLIOCENOS DE LAS HIGUERUELAS Y PIEDRABUENA (CIUDAD REAL, ESPAÑA).

Por A. ARRIBAS (*) y M. ANTON (**)

A la memoria de Don Casiano de Prado

RESUMEN

Se describen los restos fósiles de carnívoros de dos yacimientos villafranquienses de Ciudad Real (España). La mayoría de los elementos pertenecen al esqueleto postcraneal y aunque la muestra es muy pequeña y fragmentaria, se han determinado los siguientes taxones: el cánido *Nyctereutes megamastoides*, el felido *Acinonyx pardinensis* y los hiénidos *Chasmaporthetes lunensis* y *Hyaena cf. perrieri* en el yacimiento de Las Higuieruelas; y el felido *Felis (Lynx) issiodorensis* junto a *Hyaena sp.* en el yacimiento de Piedrabuena.

La presencia de taxones cursoriales como *Acinonyx* y *Chasmaporthetes* en Las Higuieruelas apunta la existencia de ambientes abiertos en las proximidades del yacimiento.

Palabras clave: Canidae, Felidae, Hyaenidae, Plioceno, Ciudad Real, España.

ABSTRACT

Carnivore fossil remains from two Villafranquian sites in Ciudad Real province (Spain) are described. Most specimens correspond to the postcranial skeleton, and although the sample is small and fragmentary, the following taxa have been identified: the canid *Nyctereutes megamastoides*, the felid *Acinonyx pardinensis* and the hyaenids *Chasmaporthetes lunensis* and *Hyaena cf. perrieri* from the site of Las Higuieruelas; and the felid *Felis (Lynx) issiodorensis*, together with a hyaenid, *Hyaena sp.* from the site of Piedrabuena.

The presence of highly cursorial taxa as *Acinonyx* and *Chasmaporthetes* in Las Higuieruelas points to the existence of open environments in the surroundings of the site.

Key words: Canidae, Felidae, Hyaenidae, Pliocene, Ciudad Real, Spain.

INTRODUCCION

Se presenta el estudio de los restos fósiles de carnívoros de los yacimientos pliocenos de Las Higuieruelas y Piedrabuena (Campo de Calatrava, Ciudad Real). La muestra de restos de carnívoros de estos yacimientos es realmente pobre, procediendo la mayoría del material, siete elementos, de las excavaciones realizadas por la Dra. Ana V. Mazo durante los años 1986, 1989 y 1991, excepto cuatro fragmentos de carnívoros recuperados en campañas anteriores y depositados en

(*) Museo Geominero, ITGE, Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.
(**) Dpto. de Paleontología, M.N.C.N. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

el Departamento de Colecciones del Museo Nacional de Ciencias Naturales (M.N.C.N.).

Los antecedentes sobre los carnívoros de estos yacimientos se encuentran en MAZO y TORRES (1989-1990) y MAZO (1993), donde se incluyen dentro de Las Higuieruelas a Felidae indet. y Hyaenidae indet., y en Piedrabuena *Hyaena sp.* y *Felis cf. issiodorensis*.

MATERIALES Y METODOS

Los fósiles del esqueleto postcraneal de los carnívoros villafranquienses son poco conocidos. Dada la dificultad para encontrar tanto descrip-

ciones y/o figuraciones en la bibliografía, como elementos homólogos de carnívoros de estas edades, se ha utilizado como material de comparación elementos de cánidos, félidos y hiénidos del yacimiento de Villarroja (La Rioja, colección del Museo Geominero, I.T.G.E.), y elementos de hiénidos de los yacimientos del Cerro de los Batallones (Madrid) y Layna (Soria) (colección del M.N.C.N.).

La muestra estudiada consta de los siguientes elementos:

Las Higuieruelas:

- Excavación de la Dra. Ana V. Mazo: un Metápodo de félido (LHG-86 IV D-1 n° 8), un fragmento de Radio de hiénido (LHG-86 IV C-2 n° 64), un fragmento de Tibia de hiénido (LHG-86 IV B-2 n° 105), un fragmento de Tibia de cánido (LHG-86 IV B-2 n° 120), un fragmento de Hemimandíbula de cánido (LHG-89 IV D-1 n° 58) y un fragmento de Tibia de hiénido (LHG-91 IV C-3 n° 72).

- Colección M.N.C.N.: una Falange de félido (M.N.C.N.-LH.29) y un fragmento de Ulna de hiénido (M.N.C.N.-LH.14).

Piedrabuena:

- Excavación de la Dra. Ana V. Mazo: un fragmento de Tibia de hiénido (PB-1).

- Colección M.N.C.N.: un fragmento de Tibia de félido (M.N.C.N.-6337) y un premolar de hiénido (M.N.C.N.-6333).

Otro problema añadido es el estado de conservación de los restos fósiles, ya que todos los elementos del yacimiento de Las Higuieruelas se encuentran muy erosionados, con la cortical externa y las regiones epifisarias abrasionadas por haber estado sometidos a corrientes de agua. Todas las dimensiones están dadas en milímetros.

PALEONTOLOGIA SISTEMATICA

A continuación se presentan los taxones identificados en cada yacimiento, junto con la descrip-

ción de los elementos que permiten realizar dichas adscripciones.

Orden Carnivora BOWDICH, 1821.

Familia Canidae GRAY, 1821

Género *Nyctereutes* TEMMINCK, 1838

Nyctereutes megamastoides (POMEL, 1842)

Yacimiento. Las Higuieruelas.

Material. Un fragmento de la región del ángulo mandibular de una hemimandíbula izquierda (LHG-89 IV D-1 n° 58) y un fragmento (1/4) distal de Tibia izquierda (LHG-86 IV B-2 n° 120).

Número mínimo de individuos: un adulto.

Medidas. Hemimandíbula: Longitud (L) del alvéolo de $M_2=9,3$; L del alvéolo de $M_3=3,3$; Altura mandibular entre $M_2-M_3=18,5$; Altura mandibular tras $M_3=20,3$; Anchura mandibular entre $M_2-M_3=6,6$. Tibia: Diámetro antero-posterior (DAP) distal= 11,5; DAPxDiámetro transverso (DT) epífisis= 8,4x9,8.

Descripción y discusión. El elemento mandibular es un fragmento de 35 mm de longitud que conserva gonion y los alvéolos de M_2 y M_3 . Dicho fragmento posee una región muy significativa en los cánidos, es decir, el ángulo mandibular. Este presenta un **lóbulo subangular muy desarrollado**, la porción conservada de la apófisis angular se sitúa a la altura de la serie dentaria y el foramen mandibular está localizado en una posición muy retrasada. El fragmento de tibia presenta roturas en la epífisis distal, pero muestra los caracteres típicos de los cánidos (p.e. largo surco maleolar en el maléolo posterior o presencia de maléolo central anterior), siendo su talla ligeramente superior a la del género *Vulpes*.

Los caracteres presentes en el pequeño fragmento mandibular son los que caracterizan al hueso dentario del género *Nyctereutes* (Perro mapache). El gran desarrollo del lóbulo subangular y la forma de la porción conservada de la rama horizontal, diferente a las de *Canis* y *Vulpes*, permiten asegurar que el elemento no perteneció a *N. donnenzani*. Este taxón, presente en los yacimientos de Venta del Moro y Layna, representa a la especie primitiva del género y presenta como características plesiomórficas del grupo un lóbulo subangular poco desarrollado y una rama

horizontal anatómicamente similar a la de *Canis* o *Vulpes* (FICCARELLI *et al.*, 1984). El fósil de Las Higuieruelas muestra los caracteres del grupo *megamastoides-sinensis* (el primero de Europa y el segundo de China).

La altura de la rama horizontal tras M_3 en el elemento de Las Higuieruelas es inferior a dicho valor en los ejemplares más grandes y robustos de *N. megamastoides* de Hungría y Saint-Vallier (Francia) (VIRET, 1954; pág. 35), que es en ambos casos de 24,5 mm. Por otra parte, el valor de esta dimensión en el fósil de Las Higuieruelas entra en el rango de los ejemplares de *N. megamastoides* del yacimiento de Villarroja (La Rioja) (tabla 1). Por todo ello pensamos que este elemento perteneció a un representante de la especie *Nyctereutes megamastoides*.

TABLA 1

Variable/Nº de ejemplar	1741M	1743M	1739M	1746M	1742M
L alvéolo M_2	9,2	-	8,4	-	8,1
L alvéolo M_3	4,1	3,3	3,1	2,8	-
Altura mandibular M_2-M_3	19,6	21,6	17	18,8	19,6
Altura mandibular tras M_3	21,7	24,3	20,3	21,4	-
Anchura mandibular M_2-M_3	5,9	8,5	5,4	6,5	6,2

Dimensiones de las hemimandíbulas de *Nyctereutes megamastoides* del yacimiento de Villarroja (Colección del Museo Geominero).

Esta especie ha sido mencionada, hasta ahora, en el yacimiento riojano de Villarroja (MN16; ARRIÑAS y BERNAD, 1994) y en los yacimientos turo-lenses de El Rincón (MN 16; ALCALA *et al.*, 1987) y La Puebla de Valverde (MN 17; AZANZA *et al.*, 1989).

Familia Felidae GRAY, 1821

Género *Acinonyx* BROOKES, 1828

Acinonyx pardinensis (CROIZET y JOBERT, 1828)

(Fig. 1)

Yacimiento. Las Higuieruelas.

Material. Un Metacarpiano IV derecho (LHG-86 IV D-1 n° 8) y una Falange 1ª (M.N.C.N.-LH.29).

Número mínimo de individuos: un adulto.

Medidas. Metacarpiano IV: L= 110,1; DAPxDT proximal= 21,8x16,7; DAPxDT diáfisis= 11,4x10,8;

DAPxDT distal= 18,4x17,6; L/DT proximal= 6,5; L/DT diáfisis= 10,2. Falange 1ª: L= 40,4; DAPxDT proximal= 12,5x15,4; DAPxDT distal= 10,5x12,6.

Descripción y discusión. El Metacarpiano IV destaca por su gran longitud y relativa gracilidad. La epífisis proximal presenta una faceta articular superior trapezoidal. Esta amplia superficie tiene un borde recto con la cara externa; un margen bien definido, recto y continuo con la cara anterior, lugar donde toma su DT máximo; una superficie articular con el Metacarpiano III (cara interna) semicircular y continua, ya que las facetas antero-interna y postero-interna se encuentran unidas por un puente óseo (Fig. 1a), estando la primera de ellas muy desarrollada en una posición relativamente baja; y un borde estrecho y arriñonado en la porción posterior de dicha superficie. La diáfisis es muy recta y de sección

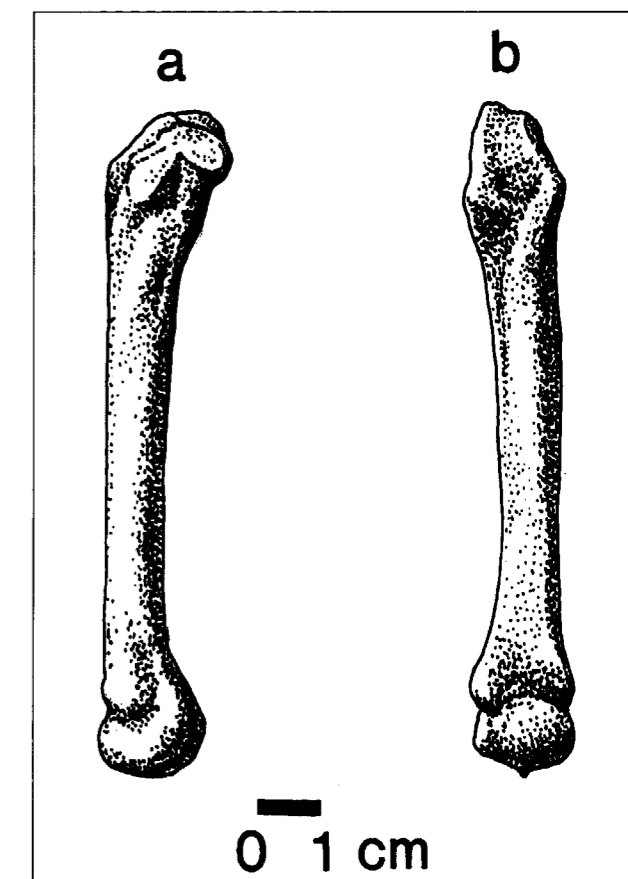


Fig. 1.- Metacarpiano IV derecho de *Acinonyx pardinensis* de Las Higuieruelas: a. cara interna (medial) y b. cara anterior (dorsal).

circular, excepto en la mitad proximal donde existen dos crestas en la cara anterior, una que finaliza en la faceta antero-interna de la cara interna de la epífisis proximal y la segunda que termina en la faceta antero-externa de la cara anterior del metápodo no sea plana en esta región, sino convexa (Fig. 1b). La epífisis distal presenta los caracteres típicos de cualquier metápodo tercero o cuarto de félido.

La Falange 1ª muestra todos los caracteres genéricos de este elemento anatómico en los félidos. Destaca el pronunciado estrechamiento que presenta la epífisis distal, tanto de las poleas como de la superficie articular. La talla de esta falange coincide con la del metacarpiano.

Ambos elementos pertenecieron a un félido corredor de talla grande. Su gran longitud y gracilidad; el desarrollo continuo, lineal y cerrado de la cara anterior de la faceta articular de la epífisis proximal, que VAN VALKENBURGH *et al.* (1990) describen como característico del guepardo (*Acinonyx jubatus*) y el puma (*Felis concolor*), mientras que en el género *Miracinonyx* (Plio-Pleistoceno de Norte América) aparece una muesca en esta cara; el hecho de que la mitad proximal de la cara anterior no sea plana, típico de los géneros *Felis* (Gato montés, Lince y Puma), *Panthera* (Leopardo y León) o de los machairodontinos de los géneros *Megantereon* y *Homotherium* que muestran el patrón estructural de los panterinos, sino convexa -la convexidad de la cara anterior de la diáfisis de los metápodos ha sido descrita por TURNER (1987), como característica de *Acinonyx jubatus*-; junto con los índices calculados (tabla 2) nos permite asegurar que el género *Acinonyx* está representado en el yacimiento. TURNER (1986) figura un Metacarpiano V del falso machairodontino *?Dinofelis* sp. (Sterkfontein-666g) con una marcada cresta en la cara anterior de la diáfisis, aunque no realiza una determinación taxonómica definitiva por no existir descripciones del esqueleto postcranial de dicho género. En cuanto a la determinación específica, comentar que no hemos encontrado referencias que traten sobre el metacarpo de las especies fósiles de este género, ahora bien, el gran tamaño de estos fósiles permiten identificar al guepardo gigante del villafranquiense de Europa, es decir, a *Acinonyx pardinensis*. Los

caracteres anatómicos del metacarpiano y la falange, anteriormente descritos, coinciden con lo observado en los elementos homólogos de *Acinonyx jubatus* actual (M.N.C.N.-3438).

TABLA 2

Taxón/Variable	L	DT proximal	L/DT proximal	DT diáfisis	L/DT diáfisis
<i>Miracinonyx trumani</i> ¹ Valor medio (N = 11)	93,2	13,1	7,1	8,8	10,6
<i>Miracinonyx inexpectatus</i> ¹ USNM 401092 USNM 184064	100,4 90,4	13,3 13	7,5 6,9	10,8 10,1	9,3 8,9
<i>Panthera cf. schaubi</i> ^{IV}	71,5	12,7	5,6	8,4	8,5
<i>Panthera pardus</i> ^V	67	11,4	5,8	8,4	7,9
<i>F. (Lynx) issiodorensis</i> ^V	69	-	-	6,7	10,3
<i>F. (Lynx) issiodorensis</i> ³	70	-	-	7	10
<i>Panthera atrox</i> ^V	112	22,2	5	15,1	7,4
<i>Panthera atrox</i> ^V	142,7	25,7	5,5	17,4	8,2
<i>Felis concolor</i> ^{II}	58	-	-	7,3	7,9
<i>F. (Lynx) lynx</i> ^{II}	74 67 70	- - -	- - -	5,8 5,3 5,3	12,7 12,6 13,2
<i>Homotherium</i> ^{III}	120	20	6	15	8
<i>Acinonyx jubatus</i> M.N.C.N.-3438	88,9	10	8,89	7,7	11,5

Dimensiones del Metacarpiano IV de distintos félidos plio-pleistocenos. Datos tomados de: I (VAN VALKENBURGH *et al.*, 1990), II (KURTEN, 1978), III (BALLESTO, 1963), IV (KURTEN & CRUSAFONT, 1971) y V (MERRIAM & STOCK, 1932).

Este género ha sido citado en el yacimiento soriano de Layna (MN 15; PEREZ y SORIA, 1989-1990). La especie ha sido identificada, con dudas, en el yacimiento turolense de La Calera (MN15; ALCALA *et al.*, 1987), y con buen material en Villarroja y en La Puebla de Valverde.

Género *Felis* LINNAEUS, 1758
Subgénero *Lynx* LINNAEUS, 1758
Felis (Lynx) issiodorensis CROIZET y
JOBERT, 1828

Yacimiento. Piedrabuena.

Material. Un fragmento (2/3) distal de Tibia izquierda (M.N.C.N.-6337).

Número mínimo de individuos: un adulto.

Medidas. DAP distal= 13,5; DAPxDT diáfisis= 13,2x12,2.

Descripción y discusión. El elemento tiene la diáfisis recta y su sección es subtriangular. La epífi-

sis distal presenta la región interna rota. El maléolo postero-interno de la cara posterior es bajo, ancho y no presenta surco maleolar. La superficie articular para la fíbula es muy ancha y baja, ocupa el tercio interno de la cara posterior, y se encuentra muy desarrollado hacia la cara interna. El maléolo externo de la cara anterior está muy desarrollado y se encuentra delimitado por dos crestas perpendiculares (aspecto estrecho y agudo).

Esta forma general de la tibia caracteriza al género *Felis*. La robustez y prominencia de la epífisis distal, junto con las dimensiones del resto permiten identificar a un lince (*Felis (Lynx) lynx* actual DT diáfisis= 12,5-12,7-13,9; KURTEN, 1978). De esta forma, podemos asegurar que en el yacimiento está representado *Felis (Lynx) issiodorensis*, el lince villafranquiense, aunque las dimensiones del ejemplar de Piedrabuena son inferiores a las de los representantes de esta especie del yacimiento francés de Etouaires (DT diáfisis= 15,0-15,2-15,9; KURTEN, *op. cit.*). Conviene recordar que el lince nórdico tiene la tibia más larga y menos robusta, menor DT, que *Felis (Lynx) issiodorensis*. Este ejemplar fue descrito como cf. *Felis issiodorensis* por MAZO y TORRES (1989-1990).

Esta especie ha sido citada en La Gloria (MN14; AZANZA *et al.*, 1989), en La Calera, en Layna, en Villarroja, en El Rincón y en La Puebla de Valverde.

Familia Hyaenidae GRAY, 1869
Género *Chasmaporthetes* HAY, 1921
Chasmaporthetes lunensis (DEL CAMPANA,
1914)
(Fig. 2: a, c)

Yacimiento. Las Higuieruelas.

Material. Un fragmento (1/2) distal de Radio derecho (LHG-86 IV C-2 nº 64) y un fragmento (3/4) distal de Tibia derecha (LHG-86 IV B-2 nº 105).

Número mínimo de individuos: un adulto.

Medidas. Radio: DAPxDT distal= 19,6x35,1; DAPxDT diáfisis= 13,2x15,9. Tibia: DAPx DT distal= 22,7x29,2; DAPxDT diáfisis (a 5 cm de la cara articular)= 16,6x16,3.

Descripción y discusión. Tibia: La diáfisis es recta y tiene sección triangular en los dos tercios proximales, mientras que en el tercio distal es elíptica. Conserva la epífisis distal completa, cuya cara articular inferior es muy profunda, con sección trapezoidal y las facetas para las poleas estrechas y acusadas. Esta epífisis presenta en la cara anterior un profundo y estrecho surco entre los maléolos interno y externo (Fig. 2a), que son romos y se sitúan en un mismo plano. La cara posterior de esta epífisis está caracterizada por un prominente, estrecho y elongado maléolo postero-interno, de contorno triangular que presenta un notable surco maleolar longitudinal (tendón del *M. flexor longus hallucis*) limitado en la cara posterior por un tubérculo central y en la cara interna por una fuerte cresta postero-interna (Fig. 2c). La forma triangular y aguda de dicho maléolo es claramente visible en norma anterior, de forma que sobresale entre los maléolos anteriores interno y externo por debajo del plano articular anterior.

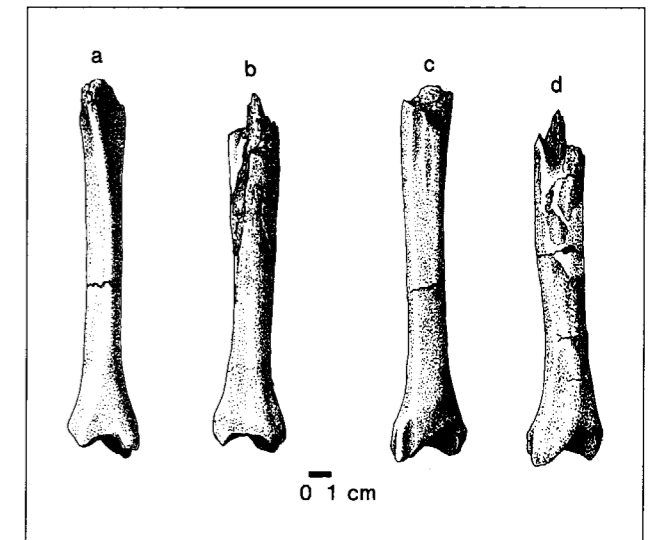


Fig. 2.- Tibia derecha de *Chasmaporthetes lunensis* de Las Higuieruelas (a. cara anterior y c. cara posterior) comparada con una tibia derecha de *Hyaena pyrenaica* de Layna (b. cara anterior y d. cara posterior)

Radio: Este fósil presenta una diáfisis estrecha, su sección es elíptica en el tercio medio y subtriangular en la zona distal, con una marcada cresta interósea. La epífisis distal es robusta y masiva, con la cara articular carpiana cuadrangu-

lar que presenta sus márgenes netos y rectos. El límite de esta cara con la escotadura ulnar es también recto. La apófisis estiloides es pronunciada y estrecha, y está ligeramente desplazada hacia la cara posterior. Sobre esta apófisis se desarrolla un marcado y pequeño surco antero-interno, para el tendón del *M. extensor brevis pollis*, que discurre oblicuo al eje longitudinal del hueso. La escotadura ulnar es plana, con sección subtriangular, y se desarrolla en un plano casi ortogonal al eje longitudinal del hueso.

Los dos elementos presentan los caracteres anatómicos de los hiénidos. Ahora bien, muestran diferencias morfológicas con los géneros *Hyaena* y *Crocota*. El radio difiere de los de *Crocota* e *Hyaena*, que presentan la cara articular inferior con un contorno ameboide, siendo curvos todos los límites de esta cara articular carpiana, y las diáfisis muy anchas en sentido transversal (*C. crocuta* DAPxDT medio= 12,8x19,5; *H. brunnea* DAPxDT= 12,2x18,3; datos tomados de BERTA, 1981).

En la tibia del género *Hyaena* el maléolo postero-interno no se encuentra tan elongado como en este ejemplar, de forma que se le puede observar en norma anterior, entre los maléolos interno y externo (al igual que en este elemento), pero sin sobresalir tanto del plano articular anterior. Las tibias de *Hyaena* tienen una diáfisis más robusta, con sección circular y fuertemente torsionada, la epífisis distal es más ancha y robusta, y poseen un maléolo postero-interno romo, más ancho y carente de surco longitudinal. Esta ausencia del surco maleolar ha sido descrita por BERTA (1981) como evidencia de una menor especialización para la carrera de los hiénidos modernos, carácter apomórfico de los géneros *Hyaena* y *Crocota*.

El elemento LHG-86 n° 105 tiene el surco entre los maléolos interno y externo de la cara anterior profundo y estrecho, y el maléolo postero-interno presenta surco maleolar. Estos caracteres pueden ser considerados plesiomórficos de los hiénidos, ya que al menos están presentes en *Protictitherium*, pequeño hiénido cursorial del Aragoniense y Vallesiense generalmente considerado como la forma más primitiva (GINSBURG *et al.*, 1981). Los materiales inéditos, pertenecientes a este género, del yacimiento vallesiense madrileño de El Cerro de los Batallones muestran

estos caracteres. Dichas estructuras anatómicas en la tibia caracterizan a los hiénidos corredores, con una menor libertad de movimientos en la articulación tibia-tarso, como ocurre con los hiénidos del género *Chasmaporthetes*, que conservan el patrón estructural distal de la tibia idéntico al de *Protictitherium*. Así pues, esta estructuración anatómica de la tibia es plesiomórfica y asignable tanto a *Chasmaporthetes borissiaki* (DT diáfisis= 15,6; KURTEN & WERDELIN, 1988) como a *Chasmaporthetes lunensis* (DT diáfisis= 17; KURTEN & WERDELIN, *op. cit.*) y *Chasmaporthetes ossifragus*, última de las especies de este género en el registro (DT diáfisis= 23,4; KURTEN & WERDELIN, *op. cit.*).

Así pues, se determina a este hiénido de Las Higuieruelas, por los datos morfológicos y métricos, como *Chasmaporthetes lunensis*. Esta especie ha sido citada en Layna, Villarroya y La Puebla de Valverde.

Género *Hyaena* BRUNNICH, 1771

Hyaena cf. perrieri (CROIZET y JOBERT, 1828)

Yacimiento. Las Higuieruelas.

Material. Un fragmento (1/2) distal de Tibia derecha (LHG-91 IV C-3 n° 72).

Número mínimo de individuos: un adulto.

Medidas. DAP distal= 23,1; DAPxDT diáfisis (a 5 cm de la cara articular)= 17,5x16,9.

Descripción y discusión. El fósil presenta la epífisis distal fragmentada en su cara interna. La diáfisis tiene en todo su trazado una sección circular, con una fuerte curvatura hacia la cara externa. La epífisis distal conserva el maléolo postero-interno, igual de desarrollado que en el elemento anterior, pero difiere de esta tibia porque no posee el surco maleolar ni las estructuras asociadas al mismo (tubérculo y cresta).

Hemos podido comparar este fragmento tibial con un fragmento de tibia (DAPxDT distal= 23,6x30,4; DAPxDT diáfisis a 5 cm de la cara articular= 18,6x19,0) perteneciente a *Hyaena pyrenaica* del yacimiento soriano de Layna (M.N.C.N.-5993). La tibia de Las Higuieruelas es homóloga en todos los caracteres a la de Layna, que posee un ancho y poco profundo surco entre los malé-

olos interno y externo de la cara anterior (Fig. 2b), una cara articular inferior somera con anchas facetas para las poleas articulares del astrágalo, y un maléolo postero-interno ancho, romo y desprovisto de surco maleolar (Fig. 2d). Como hemos visto anteriormente esta es la morfología derivada del género *Hyaena*. Puesto que no han sido descritas las diferencias entre las tibias de *H. pyrenaica* e *H. perrieri*, no podemos efectuar una determinación específica definitiva, ahora bien, consideraremos que esta tibia perteneció a un representante de *Hyaena cf. perrieri*, por la información bioestratigráfica que se posee del yacimiento (MAZO y TORRES, 1989-1990), hasta que se pueda disponer de materiales paleontológicos más significativos.

Esta especie ha sido descrita en Villarroya, El Rincón y La Puebla de Valverde.

Hyaena sp.

Yacimiento. Piedrabuena.

Material. Un germen de un P³ izquierdo (M.N.C.N.-6333) y una diáfisis de Tibia izquierda (Pb-1).

Número mínimo de individuos: un juvenil.

Medidas. Tibia: L diáfisis= 200,1; DAPxDT diáfisis= 17,1x15,2.

Descripción y discusión. El elemento yugal está descrito y figurado en MAZO (1993; lámina 1, figuras 5 y 6). La diáfisis de tibia no tiene las epífisis soldadas y presenta los caracteres típicos de las tibias de hiénidos, es decir, la mitad proximal tiene una sección triangular y la mitad distal presenta una sección subcircular, con una marcada curvatura hacia la región externa. Esta tibia tiene una mayor gracilidad y unas dimensiones similares, en su estado juvenil, a las de la tibia de los géneros *Hyaena* y *Chasmaporthetes*. Ya que existe un elemento craneal del género *Hyaena* descrito en el yacimiento, y puesto que la diáfisis es subcircular con una marcada curvatura (característico de *Hyaena*), preferimos, por el momento, incluir a este elemento dentro de esta determinación taxonómica. El fragmento diafisario no muestra caracteres específicos.

Este género había sido citado en los siguientes

yacimientos: La Gloria, La Calera, Layna, Villarroya, El Rincón y La Puebla de Valverde.

Hyaenidae indet.

Yacimiento. Las Higuieruelas.

Material. Un fragmento (3/4) proximal de Ulna derecha (M.N.C.N.-LH.14).

Número mínimo de individuos: un adulto (que tanto puede ser el representado por *Chasmaporthetes* como el identificado con *Hyaena*).

Medidas. DAPxDT olécranon= 28,4x11,3; DAPxDT diáfisis= 28x12,6.

Descripción y discusión. Este elemento está muy erosionado, con el olécranon y las escotaduras radial y troclear fragmentadas. La apófisis coronoides está muy desarrollada y se encuentra inclinada hacia la cara interna. La diáfisis está comprimida en sentido antero-posterior presentando su anchura máxima bajo la apófisis coronoides, punto en el que el DAP es mínimo.

El elemento pertenece a un representante de la familia Hyaenidae, y de esta forma se deja la determinación provisional puesto que el fósil no conserva caracteres que permitan discriminar entre *Chasmaporthetes* o *Hyaena*.

CONSIDERACIONES FINALES

Tras este somero estudio se confirma la presencia de *Chasmaporthetes lunensis* (Hiena corredora) y *Acinonyx pardinensis* (gran Guepardo) en el yacimiento de Las Higuieruelas, y se incluye como novedad en la lista faunística a *Nyctereutes megamastoides* (Perro mapache) y *Hyaena cf. perrieri* (Hiena "parda"). En cuanto al yacimiento de Piedrabuena constatar, con un nuevo elemento, la presencia de *Hyaena* sp. (Hiena "parda") y confirmar el registro de *Felis (Lynx) issiodorensis* (Lince). Así pues, ambas asociaciones parciales de carnívoros son similares a las presentes en Villarroya (MN 16) o en La Puebla de Valverde (MN 17), aunque los pocos datos de que se dispone sobre los carnívoros de Piedrabuena no contradicen la posibilidad de que este yacimiento sea algo más antiguo (MN 15) (Cuadro 1).

BIOCRONOZONAS	14		15		16			17	
	LG	LC	LA	PB	LH	VI	ER	LP	VM
CANIDOS									
<i>Nyctereutes donnezani</i>	—————→								
<i>Nyctereutes megamastoides</i>					←—————				
<i>Canis (Xenocyon) falconeri</i>								cf.	←—————
<i>Canis etruscus</i>									←—————
HIENIDOS									
<i>Hyaena sp.</i>				...					
<i>Hyaena pyrenalca</i>	cf.	—————→							
<i>Hyaena perrieri</i>									—————→
<i>Hyaena cf. perrieri</i>					...				
<i>Chasmaporthetes lunensis</i>			←—————						—————→
<i>Pachycrocuta brevirostris</i>									←—————
FELIDOS									
<i>Acinonyx sp.</i>			...						
<i>Acinonyx pardinensis</i>		cf.	—————→						—————→
<i>Felis (Lynx) issiodorensis</i>									—————→
<i>Felis (Lynx) sp.</i>									...
<i>Homotherium latidens</i>									—————→
<i>Megantereon cultridens</i>									—————→
<i>Megantereon whitali</i>									←—————

Cuadro 1.- Distribución bioestratigráfica de los taxones identificados en Las Higuieruelas (LH) y Piedrabuena (PB), junto con el rango cronológico de las especies de grandes carnívoros anteriores e inmediatamente posteriores en el registro español (LG: La Gloria, LC: La Calera, LA: Layna VI: Villarroya, ER: El Rincón, LP y la Puebla de Valverde). Se incluyen datos del yacimiento de Venta Micena (VM; Pleistoceno inferior; Granada; MARTINEZ-NAVARRO, 1992 y MARTINEZ-NAVARRO & PALMQVIST, 1995) que permiten evidenciar la sustitución de carnívoros producida entre el Plioceno y el Pleistoceno.

Las diferencias morfológicas observadas entre la articulación distal de la tibia de *Chasmaporthetes* y las llamadas "hienas verdaderas" tienen interesantes implicaciones funcionales y evolutivas. Desde el punto de vista funcional, la morfología de la superficie articular en *Chasmaporthetes*, con relieves profundamente excavados en la cóclea y el desarrollo de los maléolos, limita los movimientos de la articulación del pie al plano

sagital, mientras que el surco para el tendón *flexor longus hallucis* también enfatiza la acción de este músculo en el plano sagital. Durante la locomoción, esto último se traduce en una eficaz extensión del pie y un potente impulso del cuerpo hacia adelante (BARONE, 1989). Estas adaptaciones cursoriales contrastan con la morfología de *Hyaena* y *Crocuta*, donde las articulaciones tienden a ser más planas y se favorece la

estabilidad. Estos caracteres se han interpretado como adaptaciones para el transporte de porciones pesadas de carroña (SPOOR & BADOUX, 1988), lo que requiere una distribución eficiente de las tensiones. En definitiva, las transformaciones observadas en la evolución de la articulación distal de la tibia en los hiénidos, parecen reflejar cambios en el aparato locomotor que estarían ligados a variaciones en los hábitos alimenticios, inducidos en última instancia por presiones ambientales.

Por último, y desde el punto de vista paleoambiental, es reseñable la presencia de dos taxones cursoriales, como son el guepardo y la hiena corredora, que sugieren la existencia de espacios abiertos en las proximidades del yacimiento de Las Higuieruelas. Por otra parte, los representantes actuales del género *Nyctereutes* se asocian a ambientes boscosos y/o valles fluviales.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos expresar nuestro agradecimiento a la Dra. Ana V. Mazo por ofrecernos el material para su estudio. También agradecemos las facilidades prestadas por el Dr. L. Alcalá (Dpto. de Colecciones, M.N.C.N.) para la consulta del material de Layna y el estudio del material de Las Higuieruelas y Piedrabuena allí depositado; a la Dra. J. Barreiro (Dpto. de Colecciones, M.N.C.N.) para la consulta de elementos esqueléticos de *Acinonyx jubatus* actual; y al Dr. J. Morales (Dpto. de Paleobiología, M.N.C.N.) para la consulta del material de hiénidos del yacimiento del Cerro de los Batallones.

REFERENCIAS

- ALCALA, L., MORALES, J y SORIA, D. (1987): Síntesis y Bioestratigrafía de los carnívoros pliocenos de las cuencas centrales españolas. *Geogaceta*, 2: 45-47.
- ARRIBAS, A. y BERNAD, J. (1994): Catálogo de mamíferos pliocenos del yacimiento de Villarroya (La Rioja), en la colección del Museo Geominero. *Boletín Geológico y Minero*, 105 (3): 236-248.
- AZANZA, B., MENENDEZ, E. y ALCALA, L. (1989): The Middle-Upper Turolian and Ruscinian Cervidae in Spain. *Boletino della Società Paleontologica Italiana*, 28 (2-3): 171-182.

BALLESIO, R. (1963): Monographie d'un Machairodus du gisement villafranchien de Seneze. *Homotherium crenatidens* FABRINI. *Trav. Lab. Geol. Fac. Sc. Lyon*, 9: 1-129.

BARONE, R. (1989): *Anatomie comparée des mammifères domestiques*. Tome second. Éditions Vigot, Paris: 1-984.

BERTA, A. (1981): The Plio-Pleistocene *Hyaena Chasmaporthetes ossifragus* from Florida. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 1 (3-4): 341-356.

FICCARELLI, G., TORRE, D. & TURNER, A. (1984): First evidence for a species of Raccoon Dog, *Nyctereutes TEMMINCK*, 1838, in South African Plio-Pleistocene deposits. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 23 (1): 125-130.

GINSBURG, L., MORALES, J. y SORIA, D. (1981): Nuevos datos sobre los carnívoros de Los Valles de Fuentidueña. *Estudios geológicos*, 37: 383-415.

KURTEN, B. (1978): The *Lynx* from Etouaires, *Lynx issiodorensis* (Croizet & Jobert), late Pliocene. *Annales Zoologici Fennici*, 15: 314-322.

KURTEN, B. & CRUSAFONT, M. (1971): Villafranchian Carnivores (*Mammalia*) from La Puebla de Valverde (Teruel, Spain). *Commentationes Biologicae*, 85: 1-39.

KURTEN, B. & WERDELIN, L. (1988): A review of the genus *Chasmaporthetes* HAY, 1921 (*Carnivora, Hyaenidae*). *Journal of Vertebrate Paleontology*, 8 (1): 46-66.

MARTINEZ-NAVARRO, B. (1992). Revisión sistemática de la fauna de macromamíferos del yacimiento de Venta Micena (Orce, Granada, España). En (J. Gibert, Coord.) *Proyecto Orce-Cueva Victoria (1988-1992), Presencia humana en el Pleistoceno inferior de Granada y Murcia*. Museo de Prehistoria J. Gibert, Ayuntamiento de Orce (Granada), pp. 21-85.

MARTINEZ-NAVARRO, B. & PALMQVIST, P. (1995). Presence of the African Machairodont *Megantereon whitali* (Broom, 1937) (Felidae, Carnivora, Mammalia) in the Lower Pleistocene Site of Venta Micena (Orce, Granada, Spain), with some Considerations on the Origin, Evolution and Dispersal of the Genus. *Journal of Archaeological Science*, 22, 569-582.

MAZO, A.V. y TORRES, T. (1989-1990): El Pozo de Piedrabuena, un nuevo yacimiento de vertebrados pliocenos en el Campo de Calatrava (Ciudad Real). *Paleontología i Evolució*, 23: 213-222.

MAZO, A.V. (1993): Piedrabuena y Las Higuieruelas: aportación a la cronoestratigrafía del Villafranchiense del Campo de Calatrava (Ciudad Real). *Revista Española de Paleontología*, 8 (2): 133-139.

MERRIAM, J.C. & STOCK, CH. (1932): *The Felidae from Rancho La Brea*. Carnegie Institution of Washington, nº 422, USA.

PEREZ, B. y SORIA, D. (1989-1990): Análisis de las comunidades de mamíferos del Plioceno de Layna (Soria) y La Calera (Teruel). *Paleontología i Evolució*, 23: 231-238.

SPOOR, C.F. & BADOUX, D.M. (1988): Descriptive and Functional Myology of the Back and Hindlimb of the Striped Hyena (*Hyaena hyaena*, L. 1758). *Anat. Anz. Jena*, 167: 313-321.

TURNER, A. (1986): Miscellaneous carnivore remains from Plio-Pleistocene deposits in the Sterkfontein Valley (Mammalia: Carnivora). *Annals of the Transvaal Museum*, 34 (8): 203-226.

TURNER, A. (1987): New fossil carnivore remains from the Sterkfontein Hominid Site (Mammalia: Carnivora). *Annals of the Transvaal Museum*, 34 (15): 319-347.

VAN VALKENBURGH, B., GRADY, F. & KURTEN B. (1990): The Plio-Pleistocene Cheetah-like cat *Miracinonyx inexpectatus* of North America. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 10 (4): 434-454.

VIRET, J. (1954): Les loess a bancs durcis de Saint-Vallier (Drome) et sa faune de mammifères villafranchiens. *Nouvelles Archives du Muséum d'Histoire Naturelle, Lyon*, 4: 1-200.

Original recibido: Julio 1996.

Original aceptado: Noviembre 1996.

LA ESTRUCTURA CIRCULAR DE AZUARA (ZARAGOZA). ORIGEN ENDOGENO VERSUS IMPACTO.

Por V. SANCHEZ CELA (*)

R E S U M E N

La estructura circular de Azuara, edificada sobre materiales del Paleozoico y Mesozoico, fué interpretada por geólogos alemanes como producida por un impacto meteorítico que tuvo lugar entre el Eoceno y el Oligoceno.

En este trabajo se relaciona el origen de esta estructura (formada más bien por dos estructuras) con procesos dinámicos-petrogenéticos endógenos que tuvieron lugar desde tiempos Hercínicos a tardi-Alpinos.

Gran parte de estos procesos dinámicos y petrogenéticos se atribuyen a la actividad de una masa granítica domática, deducida por la presencia de diversas manifestaciones de rocas ígneas (microgranitos-riolitas) y procesos de silicificación-feldespatización que afectan principalmente a los materiales del Paleozoico.

Palabras clave: Procesos endógenos polifásicos, Silicificación, Domo granítico.

A B S T R A C T

The Azuara (Spain) structure is considered by some German geologists to be a circular structure produced by impact during upper Eocene or Oligocene. On the contrary some Spanish geologists consider this structure not to be circular and formed by a partially deformed sedimentary sequence.

Geological data indicate that this structure is mainly composed of two structures built through several Endogeneous Hercynian to late Alpine episodes. One structure, the northern, is formed by a Paleozoic-Mesozoic anticline-arch structure (Azuara structure), and the other by a light Mesozoic dome (Muniesa structure).

Petrological studies on the Mesozoic rocks considered to be impacted do not support the existence of such high dynamic processes in the Azuara zone. Although the Paleozoic materials are more deformed, such dynamic features are of Hercynian age.

In this paper the origin of these circular structures is related to dynamic polyphasic deformations induced by circular-domed underlying granitic masses in different stages of growth during Hercynian to Alpine times.

The presence of these non outcropping granites is deduced by the existence of some granitic manifestations mainly on the Paleozoic rim materials of the structure, (some granitic-granophyre rocks and various rhyolitoids and related rocks). These igneous "granitic" manifestations are mainly associated with Hercynian to late Hercynian materials. The Mesozoic materials are only affected by silicification processes that partially affect determinate stratigraphic levels.

The polyphasic and anisotropic emplacement of the domed granitic masses was the main cause of the existence of differential structural features between Hercynian and Alpine materials in the Azuara zone.

Key words: Endogeneous processes, Polyphase deformation, Silicification, Granitic dome.

(*) Departamento de Geología, Univ. de Zaragoza, 50009 ZARAGOZA.

INTRODUCCION

La estructura de Azuara es casi circular, localizada a 50 km al sur de la ciudad de Zaragoza. Esta estructura, que desde un punto de vista estratigráfico abarca materiales desde el Ordovícico al Plio-Cuaternario, es de carácter polifásico y formada a su vez por dos estructuras (Fig. 1). La principal estructura es casi circular, con cerca de 33 km de diámetro, anisotrópica y formada por

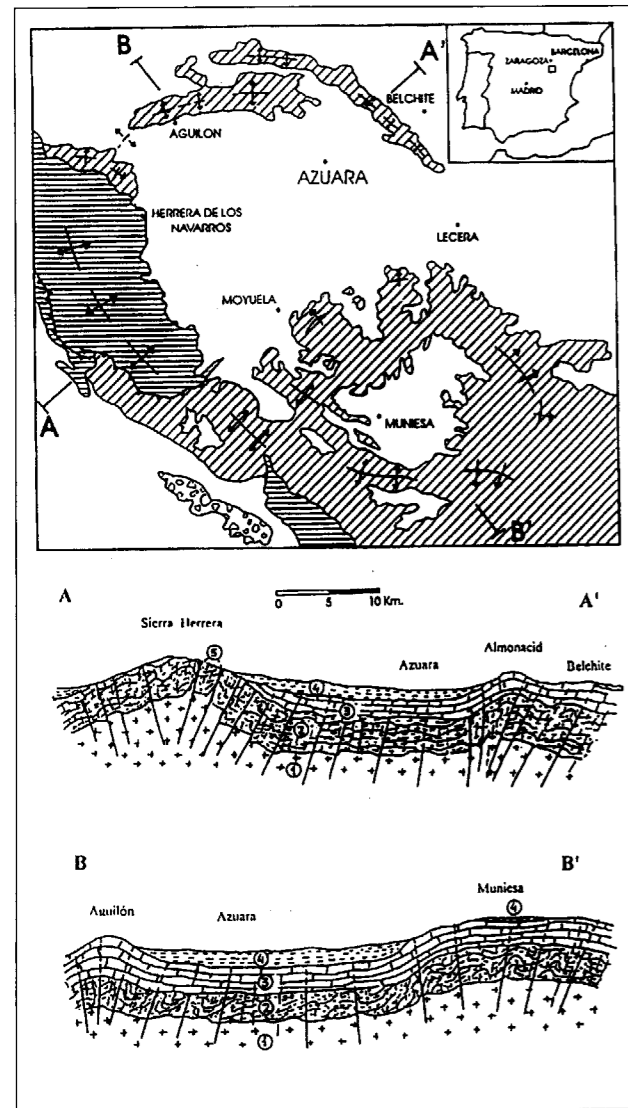


Fig. 1.- Mapa geológico esquemático de la zona de Azuara con la interpretación de dos cortes transversales (A-A' y B-B'); 1=Basamento granítico (deducido), 2=Paleozoico; 3=Meso-zoico; 4=Terciario y Cuaternario; 5=Rocas ígneas filonianas (microgranitos-riolitas).

una estructura anular de materiales Paleozoicos y Mesozoicos que generalmente delimitan, en forma de arcos anticlinales, una cuenca Terciaria-Cuaternaria: la estructura de Azuara. La otra estructura (secundaria) está formada por un domo suave de morfología ovalada localizada al sur de la principal estructura de Azuara: el domo de Muniesa. Esta estructura, de 20 a 30 km de ancho, está formada en su mayoría por materiales Mesozoicos, principalmente del Jurásico y en menor cantidad del Cretácico, parcialmente cubiertos por materiales Terciarios y Cuaternarios. Los datos estructurales indican que este suave domo está afectando y deformando a la principal estructura de Azuara en la parte sur-occidental.

La principal estructura circular (Azuara) en la parte occidental está constituida principalmente por materiales Paleozoicos (e.g. Sierra Herrera) con diversas estructuras anticlinales, principalmente formadas por rocas cuarcíticas-brechoides. La parte norte y oriental de dicha estructura la configuran materiales Mesozoicos carbonatados, principalmente de edad Jurásica (zona entre Aguilón-Belchite).

La zona sur de la principal estructura de Azuara, como hemos dicho, está formada por el suave domo Mesozoico de Muniesa.

Dentro de esta zona definida como el domo de Muniesa pueden ser reconocidas otras estructuras secundarias de tipo anticlinal de planta arqueada. Estas estructuras menores en la zona norte parecen estar relacionadas con la estructura arqueada de Aguilón-Belchite.

Por otro lado, los datos geológicos indican que algunas estructuras anticlinales en los materiales Paleozoicos de Sierra Herrera, parte nororiental, se continúan a través de materiales Mesozoicos de las Sierras de Rudilla y Cucalón en la zona suroeste. Esto indica que todos los materiales hercínico-alpinos que configuran la estructura polifásica y compuesta de Azuara están afectados en su totalidad por las mismas estructuras Alpinas que configuran las estructuras circulares-domáticas polifásicas en esta zona (Azuara p.d. y Muniesa).

Las principales hipótesis o ideas a cerca del origen de los rasgos geológicos "circulares" de Azuara son las siguientes:

- Azuara es una estructura circular producida por:

- Procesos tectónicos-endógenos
- por impacto

- Azuara, por el contrario no es una estructura circular, estando sólo parcialmente deformada.

El origen tectónico-endógeno para la estructura de Azuara fue sugerido por Carls (1983), aunque sus argumentos no fueron suficientemente explicados. El origen de la estructura de Azuara producida por impacto es defendida por la mayor parte de los geólogos alemanes (Ernstson et al., 1985; Ernstson & Claudin, 1990; Ernstson & Fiebag, 1992, 1993). Junto con estos trabajos existen también otros trabajos inéditos, principalmente Tesis doctorales, que defienden también esta teoría. Los geólogos alemanes dedujeron el carácter "muy dinámico" de tal estructura (impacto) mediante argumentos geológicos, geofísicos y petrológicos que serán comentados más tarde. Por el contrario, algunos geólogos españoles consideran que la zona de Azuara no es una estructura circular sino que corresponde a una secuencia sedimentaria Mesozoica-Cenozoica parcialmente afectada por los procesos Alpinos de cabalgamiento, principalmente en la zona norte (área de Aguilón-Belchite) con la formación de estructuras de arco en materiales Mesozoicos (Aurell et al., 1993).

Estas dos diferentes interpretaciones de la zona de Azuara, junto con mis interpretaciones de los principales datos geológicos y ayudado por los importantes datos petrológicos, son las principales razones para proponer un modelo endógeno el cual creo que explica más fácilmente los datos polifásicos geológicos-petrológicos en esta zona.

PRINCIPALES DATOS PARA CONSIDERAR UN IMPACTO COMO ORIGEN DE UNA ESTRUCTURA CIRCULAR

De acuerdo con diferentes autores (Grieve, 1991; Martini, 1991; Officer & Carter, 1991; Henkel & Pesonen, 1992; Grieve & Pesonen, 1992) los principales datos geológicos-petrológicos y geofísicos para considerar que una determinada estructura circular fue formada por consecuencia de un impacto, son los siguientes:

- La existencia, por ejemplo, de fragmentos metálicos

- Presencia de rasgos típicos de metamorfismo de choque con minerales polimórficos de alta presión (e.g. coesita, estishovita), junto con estructuras cónicas muy quebrantadas ("shatter cones"), rasgos de deformación planar en cuarzo, estructuras de fusión, etc.

- Estructuras circulares, con una depresión central parcialmente abombada delimitada por elevaciones anulares.

Junto con estos datos otros rasgos generales asociados son: la existencia de anomalías gravimétricas, magnéticas y eléctricas.

En la estructura de Azuara no han sido encontrados fragmentos metálicos exóticos. La presencia de fragmentos meteoríticos debajo de los sedimentos Plio-Cuaternarios en Azuara es especulativa.

Ni rasgos de metamorfismo de choque ni la presencia de minerales polimórficos, ambos formados bajo condiciones de alta presión y temperatura, están presentes en Azuara. Solamente cuarzos más o menos deformados, que presentan estructuras que pudieran interpretarse como "estructuras planares", están presentes en las rocas cuarcíticas-brechoides atribuidas al Ordovícico y en los cantos y clastos Plio-Cuaternarios heredados de aquellas rocas silíceas.

En los materiales asociados a la estructura de Azuara no hemos encontrado rocas que muestren rasgos de haber sufrido "fusiones parciales". La aparente existencia de texturas isotrópicas en algunos carbonatos silicificados del Jurásico (Ernstson & Fiebag, 1993) como granos de cuarzo parcialmente "fundidos" serán comentadas más tarde.

Aunque es evidente la presencia de una estructura circular aproximada en Azuara, los datos geológicos-estructurales indican que está formada más bien por dos estructuras y originada en varios episodios desde tiempos Hercínicos a Alpinos. Por lo tanto el origen de esta estructura como formada a través de un único proceso dinámico debe de ser descartado.

La presencia de anomalías gravimétricas dentro

de la estructura de Azuara, que parece indicar la presencia de materiales de baja densidad, puede ser producido por diversas causas. Así, la fragmentación de los materiales de un supuesto impacto puede producir una disminución en la densidad de los mismos, y por lo tanto producir anomalías gravimétricas. En la zona de Azuara tales rocas fragmentarias no están presentes. Su presencia debajo de los materiales Cuaternarios es especulativa.

Muchos geólogos y geofísicos conocemos que en muchas estructuras circulares-domáticas, en muchos casos con afloramientos graníticos, las anomalías gravimétricas negativas son muy frecuentes. Estas anomalías gravimétricas pueden ser explicadas por la falta de compensación isostática de las masas graníticas durante su emplazamiento en los niveles superficiales de la corteza.

La existencia de anomalías gravimétricas negativas no es una prueba determinante en favor o en contra de un impacto como origen de la estructura de Azuara. Tales anomalías gravimétricas en la zona de Azuara pueden ser producidas por la presencia de una masa domática granítica no aflorante que deduzco debe estar presente debajo de 3-5 km de sedimentos dentro de la estructura. Estas rocas graníticas deducidas dentro de la estructura de Azuara, parecen alcanzar niveles estructurales más elevados en los materiales paleozoicos que delimitan tal estructura en la parte oeste, donde la presencia de ciertas rocas ígneas y de procesos de silicificación-feldespatización son en mi opinión manifestaciones superficiales de rocas graníticas infrayacentes.

La falta de anomalías magnéticas en la estructura de Azuara, no descarta la presencia de tales granitos por la simple razón que las rocas ígneas ácidas no producen tales anomalías. Ignoro si en el trabajo de Ernstson & Fiebag (1992) consideran tales rocas cuando estos autores descartan un origen endógeno para la estructura de Azuara debido a que estos autores consideran rocas ígneas de origen mantélico, es decir máficas-ultramáficas.

Creo que merece la pena recalcar aquí, que la mayor parte de las estructuras circulares y domáticas en el mundo están generalmente asociadas

a cortezas siálicas de mayor o menor espesor donde las masas graníticas son muy abundantes; por el contrario las rocas máficas-ultramáficas están muy poco o nada representadas (Sánchez Cela, 1990).

LA CONTRIBUCION DE LOS DATOS PETROLOGICOS. DISCUSION

Uno de los datos más importantes de los geólogos alemanes para considerar que la estructura de Azuara fue formada por un impacto, proviene de la interpretación petrológica de algunas rocas carbonatadas generalmente de edad Jurásica.

En algunas zonas de la estructura de Azuara, principalmente en la parte nororiental, hay rocas carbonatadas-brechoides parcialmente silicificadas atribuidas al Liásico-Jurásico. Los datos geológicos indican claramente que este tipo de rocas secundarias están asociadas con niveles estratigráficos determinados, principalmente de edad Liásica a Jurásica. Estas rocas brechoides más o menos silicificadas son también frecuentes a lo largo de la Cadena Ibérica y otras zonas Alpinas de la España Peninsular. Desde el punto de vista del origen de la estructura de Azuara por impacto es muy difícil entender un origen tan local de tan importante manifestación dinámica. Tales procesos tectónicos y petrológicos asociados (silicificación) pueden ser fácilmente relacionados con otros procesos análogos en zonas cercanas fuera de la estructura de Azuara. Por otro lado los estudios petrográficos sobre las rocas supuestamente impactadas indican que tales rocas no presentan rasgos de condiciones de alta presión-temperatura ni menos aun la presencia de estructuras vítreas producidas por fusión parcial como dicen Ernstson & Fiebag (1993) y Mayer (1991 op. cit.).

Si el principal argumento para el origen de la estructura de Azuara por impacto procede de la interpretación de la existencia de condiciones de alta presión-temperatura para tales rocas, entonces este argumento es falso. En mi opinión el principal fallo en la interpretación de la estructura de Azuara como producida por impacto proviene principalmente de la no correcta interpretación de los datos petrográficos.

A través de las rocas estudiadas por Ernstson & Fiebag (1993) en parte heredadas de Mayer (1991 op. cit.), junto con aquellas recogidas y estudiadas para este trabajo, cualquier petrólogo puede identificar las rocas supuestamente "impactadas" como rocas sedimentarias carbonatadas-brechoides con texturas micríticas y seudoesparíticas, las cuales en algunos casos presentan algunos cuarzos. En estas rocas los carbonatos y principalmente los cristales de cuarzo aparecen diferencialmente deformados.

Esta rocas carbonatadas parcialmente deformadas y silicificadas muestran en algunos casos "zonas" que ópticamente se comportan como isotropas. Este fenómeno a veces frecuente en los contactos entre los cristales de cuarzo y carbonatos está perfectamente entendido y explicado por todos los geólogos que hacen uso de la petrografía. Así durante la elaboración de una sección delgada de una roca que contiene minerales con diferentes propiedades físicas (dureza-fragilidad) es muy frecuente la formación de "huecos" debido a la pérdida parcial de algunos minerales durante la abrasión. Así es frecuente que granos de cuarzo en rocas carbonatadas sean "arrancados" en relación a los cristales de carbonato. Estos "huecos" desafortunadamente han sido interpretados por algunos geólogos como "cuarzos fundidos" (véase fig. 1 de Ernstson & Fiebag, 1993).

De los datos petrológicos y de las muestras, teniendo en cuenta los aspectos petrológicos y sedimentológicos regionales del Liásico-Jurásico puede deducirse que los cuarzos presentes en tales rocas brechoides carbonatadas de Azuara son claramente de origen secundario y producidos por procesos endógenos de silicificación. Por otro lado los datos estructurales y estratigráficos indican que estos procesos de silicificación sólo afectaron a determinados niveles de la columna estratigráfica (Liásico-Jurásico). Los niveles estratigráficos superiores (Cretácicos) no están afectados por tales procesos de silicificación.

Por otro lado estos procesos de silicificación son locales, lineales y casi puntuales y siempre siguiendo estructuras verticalizadas. Por lo tanto la teoría de un fenómeno global para la zona de Azuara, tal como debía de ser si hubiera habido un impacto, debe de ser descartada.

La única explicación racional para este fenómeno local es la relación con fenómenos endógenos que estén asociados a un mecanismo tectónico-petrogenético que libere sílice y otros elementos químicos móviles en las zonas más dinámicas de la estructura circular de Azuara.

Por otro lado los estudios petrográficos realizados sobre cuarzos asociados a las rocas carbonatadas del Jurásico y a los clastos de la Formación de Pelarda indican que tales cuarzos muestran rasgos planares similares a los de los cuarzos de las rocas silíceas del Paleozoico, principalmente en las rocas cuarcíticas algo brechoides definidas como "Cuarcitas Armoricanas". Evidentemente tales rasgos petrológicos y estructurales no pueden ni deben de ser atribuidos como originados por impacto.

Aun la presencia de estructuras planares en cuarzo tiene diferentes interpretaciones. Así, Officer & Carter (1991) entre otros, consideran que estructuras planares en cuarzos muy similares pueden corresponder bien a impactos (ej. Lago de Coutoure, Quebec-Canadá) o bien a materiales afectados por procesos de deformación de baja intensidad (ej. "Dry Creek Ridge" anticlinal, Montana-USA). Entre otras es interesante reflejar una frase de los citados autores: "Single sets of planar features are just as diagnostic of shock deformation as are multiple sets".

Otro argumento empleado por los geólogos que defienden el origen por impacto para la estructura de Azuara, es la presencia de un conglomerado algo brechoide fuera de dicha estructura. Esta formación conglomerática de edad entre Eoceno Superior y Oligoceno fue definida como Formación de Pelarda (Ernstson & Claudin, 1990; Ernstson & Fiebag, 1992). Un simple estudio de esta formación indica que está compuesta por abundantes cantos heterométricos y clastos de diferentes granos de cuarzo, moderadamente cementados por carbonatos micríticos-esparíticos. En estos materiales sedimentarios se aprecia un diferente grado de deformación entre los cantos y clastos de cuarcita-cuarzo, que pertenecen a materiales paleozoicos más o menos deformados, y el cemento micrítico-esparítico nada deformado. Esta simple disarmonía en la deformación a escala centimétrica es por sí suficiente para

invalidar que esta formación sedimentaria haya sido afectada por un impacto.

Por otro lado, si las rocas carbonatadas brechoides del interior de la estructura son de edad Liásica-Jurásica, es muy difícil relacionarlas con aquellas del exterior (Pelarda Fm.) intentando relacionarlas por sus caracteres "dinámicos" cuando desde un punto de vista estratigráfico y temporal no tienen relación alguna.

En mi opinión la única explicación razonable es que los materiales conglomeráticos de la Formación de Pelarda correspondan a una formación clástica sedimentaria con mala clasificación sedimentológica, heredados de los materiales silíceos del Paleozoico colindante y cementados por carbonatos de una forma muy similar a los cementos travertínicos.

NUEVA INTERPRETACION PARA LA ESTRUCTURA DE AZUARA

Carls (1983) hace algunos años consideró que la estructura de Azuara tenía un origen relacionado con procesos endógenos-tectónicos internos. Aunque este autor no explicó cual eran las causas de un origen endógeno, sus deducciones deberían de haberse tenido en cuenta y discutidas con otras alternativas (ej. origen por impacto).

Desde el punto de vista estructural y petrológico podemos definir la estructura de Azuara como de carácter polifásico y construida a través de diversos episodios Hercínicos-Alpinos.

Esta estructura aproximadamente circular está más bien formada por dos estructuras de carácter polifásico. La que pudiéramos definir como la mayor y principal, que podemos definir como de "Azuara" p.d., ya que corresponde la mayor parte de la zona norte de dicha estructura, y la segunda de menor entidad localizada al Sur y que podemos denominar como de "Muniesa" compuesta principalmente por materiales mesozoicos estructurados en un domo suave (Fig. 1).

Antes de tomar en consideración diversos datos petrológicos que son en mi opinión muy impor-

tantes para una más racional explicación de dichas estructuras, creo que es conveniente recordar aquí la relación entre estructuras circulares y domáticas con la presencia de rocas graníticas muchas veces aflorantes en el interior de dichas estructuras. Esta relación presente en muchas formaciones a través de los tiempos geológicos ha sido considerada por muchos geólogos (Sánchez Cela, 1985, 1990).

En este trabajo se relacionan el origen de las estructuras domáticas-circulares (y también ovales) con el origen y emplazamiento de los granitoides en la corteza superior. Estas estructuras son las que requieren menos energía para su movilización-emplazamiento.

En muchos casos el "emplazamiento" de estos granitoides tiene lugar sobre cortezas siálicas gruesas y bastante estables, en estos casos los efectos dinámicos del emplazamiento quedan principalmente reflejados en las zonas en donde se acumulan los esfuerzos compresionales, es decir, en el contacto circular o semicircular (arco) con los materiales encajantes. Aquí es en donde la movilización de la materia siálica es más acusada y en donde quedan reflejados los procesos dinámicos generalmente polifásicos: formación de brechas-silíceas, rocas ígneas silíceas-intermedias y en general rocas cuarzo-feldespáticas que conllevan a diversas interpretaciones petrogenéticas (Sánchez Cela & Aparicio, 1982; Sánchez Cela, 1985, 1990).

Por el contrario en el centro de las estructuras circulares-domáticas el campo de los esfuerzos es mucho menor, predominando aquí los procesos extensivos en lugar de los compresivos (Sánchez Cela, 1990).

En base a estas consideraciones sobre muchas zonas circulares, principalmente hercínicas y teniendo en cuenta los datos petrológicos y estructurales de la zona de Azuara, relacionamos el origen de dicha estructura al emplazamiento de una masa granítica domática. Aunque esta masa granítica no aflora deducimos su cercana presencia debajo de los sedimentos por sus "crendencias" que se manifiestan principalmente en los materiales del Paleozoico de la zona oeste de dicha estructura.

En esta zona hay abundantes manifestaciones endógenas ricas en cuarzo las cuales dan lugar a la formación de diversas facies ígneas, como por ejemplo "microgranitos", riolitas y dacitas. Otras rocas por el contrario corresponden a rocas híbridas, entre facies sedimentarias e ígneas silíceas. Por medio de un breve estudio geológico y petrológico es muy fácil deducir que el origen de tales rocas ígneas e híbridas está relacionado con procesos endógenos de silicificación (y también de feldespatización) según una estructura arqueada y verticalizada que parcialmente configura la parte occidental de la estructura de Azuara.

Los estudios petrográficos indican que las rocas "microgranitos-riolitas" son de texturas subporfídicas, microcristalinas y compuestas principalmente por cuarzo, ortosa o microclina, Na-plagioclasa y cloritas-biotitas como minerales principales. Apatito, zircón y a veces almandino son minerales accesorios.

En algunos puntos de la zona de Segura de Baños hay verdaderos granitos, principalmente adamellitas asociadas a rocas brechoides-silíceas como "enclaves" difusos.

Todas estas rocas son en mi interpretación la expresión superficial de este granito, que de edad Hercínica ha sido reactivado en diversas fases Alpinas y que se "manifiesta" en aquellas zonas en donde la dinámica energética es más acusada, es decir en las zonas arqueadas que delimitan parcialmente la morfología domática granítica en profundidad.

Por otro lado los datos geológicos-petroológicos indican que las principales manifestaciones de silicificación y brechificación afectan a los materiales Alpinos, principalmente a los materiales de edad Liásica-Jurásico Inferior. Por el contrario los materiales carbonatados del Jurásico Superior y Cretácico no presentan signos de tal silicificación y brechificación. Si el "impacto meteorítico", según los citados geólogos alemanes, tuvo lugar entre el Eoceno y Oligoceno, no entendemos como tan importante fenómeno dinámico solamente afectó a determinados niveles estratigráficos del Mesozoico.

La única explicación racional es que los procesos

de silicificación y sus correspondientes fenómenos dinámicos tuvieron principalmente lugar durante el Mesozoico, entre el Liásico y el Jurásico inferior. Los datos geológicos no indican la presencia de similares fenómenos dinámicos en materiales más modernos al Jurásico.

La formación de diversas rocas ígneas (generalmente ácidas) y otras manifestaciones silíceas en la zona occidental de Azuara parecen corresponderse temporalmente con el origen de las rocas ofíticas (doleríticas) que curiosamente siempre están asociados a materiales del Keuper pero formadas en tiempos del Liásico-Jurásico inferior.

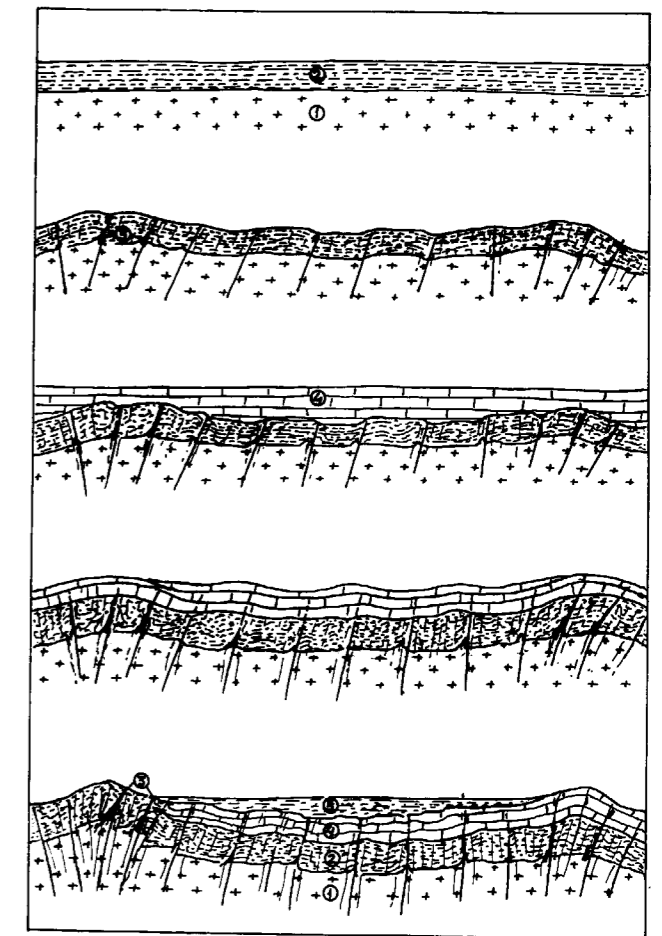


Fig. 2.- Esquema de evolución estructural-petroológica propuesta para la zona de Azuara. A=Estado inicial en tiempos hercínicos; B=id después de diversos procesos hercínicos; C=Sedimentación Triásica-Jurásica; D=Episodios Alpinos; E=Estado actual (Materiales 1-5 igual que la fig. 1).

En base a los datos geológicos y petrológicos junto a mis deducciones sobre la íntima relación entre las estructuras circulares y domáticas con el origen y emplazamiento de masas graníticas domáticas, proponemos una evolución petro-estructural para la zona de Azuara, que esquemáticamente se refleja en la Fig. 2.

Este corto trabajo geológico posiblemente no saldría a la luz si los habitantes de la tranquila localidad de Azuara, hace unos tres años no nos contaran con cierto entusiasmo (cuando vamos de excursiones geológicas) que allí cayó un meteorito. Siento mucho que este trabajo pueda restarle algo del atractivo "geoturístico" a esa simpática localidad aragonesa.

REFERENCIAS

- AURELL, M., GONZALEZ, A., PEREZ, A., GUIMERA, J., CASAS, A. & SALAS, R. (1993): *Discussion of "The Azuara impact structure (Spain): new insights from geophysical and geological investigations" by K Ernstson and J Fiebag*. Geol. Rundsch., 82, 750-755.
- CARLS, P. (1983): *La zona asturoccidental-leonesa en Aragón y el macizo del Ebro como prolongación del macizo cantábrico*. In: *Libro Jubilar J. M. Ríos. (Comisión Nacional de Geología, ed.)*. Contribuciones sobre temas generales. Inst. Geol. Miner. España, III, 11-32.
- ERNSTSON, K., HAMMANN, W., FIEBAG, J. & GRAUP, G. (1985): *Evidence of an impact origin of the Azuara structure (Spain)*. Earth. Planet. Sci. Lett., 74, 361-370.
- ERNSTSON, K. & CLAUDIN, F. (1990): *Pelarda Formation (Eastern Iberian Chains, NE Spain): Ejecta of the Azuara impact structure*. N. Jb. Geol. Palaont. Mh. Stuttgart, 10, 581-599.
- ERNSTSON, K. & FIEBAG, J. (1992): *The Azuara impact structure (Spain): new insights from geophysical and geological investigations*. Geol. Rundsch., 81, 403-427.
- ERNSTSON, K. & FIEBAG, J. (1993): *Reply to discussion of "The Azuara impact structure (Spain): new insights from geophysical and geological investigations" by K. Ernstson and J. Fiebag*. Geol. Rundsch., 82, 756-759.
- GRIEVE, R.A.F. (1991): *Terrestrial impact: The record in the rocks*. Meteoritics, 26, 175-194.
- GRIEVE, R.A.F. & PESONEN, L.J. (1992): *The terrestrial impact cratering record*. In: *Terrestrial Impact Craters and Craterform Structures with a Special Focus on Fennoscandia*. Pesonen L. J. & Henkel H. (eds). Tectonophysics, 216, 1-30.
- HENKEL, H. & PESONEN, L.J. (1992): *Impact craters and craterform structures in Fennoscandia*. In: *Terrestrial Impact Craters and Craterform Structures, with a Special Focus on Fennoscandia*. Pesonen L. J. & Henkel H. (eds). Tectonophysics, 216, 31-40.
- MARTINI, J.E.J. (1991): *The nature, distribution and genesis of the coesite and stishovite associated with the pseudotachylite of the Vredefort Dome, South Africa*. Earth. Planet. Sci. Lett., 103, 285-300.
- OFFICER, C. & CARTER, N.L. (1991): *A review of the structure, petrology, and dynamic deformation characteristics of some enigmatic terrestrial structures*. Earth. Sci. Rev., 30, 1-49.
- SANCHEZ CELA, V. (1985): *Structural Petrological and Mineralogical Features of Spanish Ovoidal Structures in Relationship with Granite Intrusions*. In: *The Crust - The Significance of Granites Gneisses in the Lithosphere*. Wu Liren et al. (eds). Theophrastus Publ. Athens, 169-175.
- SANCHEZ CELA, V. (1990): *Energy and Geochemical-Geophysical Data as Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory*. In: *Critical Aspects of the Plate Tectonics Theory*. Belousov V. V. et al. (eds). Theophrastus Publ. Athens, vol. II, 35-64.
- SANCHEZ CELA, V. & APARICIO YAGUE, A. (1982): *Feldspathic-Quartz Rocks, of Sedimentary, Metamorphic and Igneous Facies, in Relation to Granitization-Transformation Processes in the Hercynian Massif of Spain*. In: *Transformists' Petrology*. Drescher-Kaden F. K. & Augustithis S. S. (eds). Theophrastus Publ. Athens, 189-229.

Original recibido: Junio 1996.

Original aceptado: Noviembre 1996.

METODOLOGIA PARA LA OPTIMIZACION DE INSTALACIONES DE RECARGA SUPERFICIAL. DIMENSIONADO DE FILTROS DE FONDO. APLICACION A LAS INSTALACIONES DEL RIO OJA.

Por C. J. GAVILAN MORENO (*) y J. M. MURILLO DIAZ (**)

RESUMEN

En este artículo, se presenta una metodología para el dimensionamiento de los filtros de fondo de las balsas de recarga. Estos filtros constituyen, en algunos dispositivos de infiltración, una parte esencial de los mismos, ya que de su correcto funcionamiento puede depender el éxito o fracaso de la operación de recarga. La finalidad de estos filtros es retener una cierta cantidad de sólidos en suspensión. Ahora bien, dicha retención se produce en un determinado espesor, por lo que, en el hipotético caso de un sobredimensionamiento de los mismos, el espesor restante sobraría, el volumen útil de la balsa se reduciría, y los costes constructivos y de operación de limpieza se incrementarían.

Palabras clave: Recarga artificial, Colmatación, Tasa de infiltración, Sólidos en suspensión, Filtros.

ABSTRACT

In this paper, a method to dimension the recharge ponds bottom filters is shown. These filters are essential parts of some recharge schemes, because the recharge experience success or failure depends on the correct working of them. The filter purpose is to retain a part of the suspended solids that are carried by the water. Otherwise, the retention takes place in a filter concrete thickness; so, in the hypothetical case of a filter's overdimension, the rest of the filter thickness would be in excess, the useful pond volume would be reduced, and the constructing and cleaning costs would be increased.

Key words: Artificial recharge, Clogging, Infiltration rate, Suspension solids, Filters.

1 INTRODUCCION

Se denomina colmatación u obstrucción al proceso de acumulación de materiales en las proximidades de la superficie de entrada de agua, reduciendo la tasa de infiltración o del caudal específico, una vez eliminado el efecto de posibles cambios de temperatura (Custodio, 1986). Existen muchas causas que producen esta colmatación: Materia en suspensión, burbujas de gas en el agua, actividad biológica, precipitación de compuestos químicos, hinchamiento de arcillas, etc.

En el presente artículo se han obviado la mayoría de los factores anteriormente indicados, ya que muchos de ellos tienen tratamientos específicos. La investigación se ha centrado, por motivos de importancia cuantitativa y cualitativa, en la colmatación del suelo por la acción de los sólidos en suspensión.

Los sólidos en suspensión son fracciones granulométricas muy finas, pertenecientes a la familia de las arcillas y los limos. La deposición de estos sólidos responde a la ley de sedimentación, es decir, es función de la velocidad del fluido. La función que los relaciona es de orden inverso, a mayor velocidad del fluido, menor cantidad de sólidos se deposita. Otro factor a tener en cuenta

(*) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas.

(**) Instituto Tecnológico Geominero de España.

es la concentración de estos sólidos, ya que también tiene influencia en la deposición. Si se tienen dos fluidos que circulan a la misma velocidad, pero con distinta concentración, se depositarán más sólidos en el que tenga mayor concentración.

Como consecuencia de la colmatación la tasa de infiltración se reduce. Esta reducción puede llegar a anular dicha tasa de infiltración, con lo que la instalación de recarga puede quedar inutilizada. Para evitar esto, se instalan en el fondo de las balsas filtros, constituidos por una o varias capas de arena y grava calibrada, de manera que los sólidos se depositen en ellos. Esta operación permite descolmatar la instalación fácilmente, mediante la sustitución o limpieza de dichos filtros, tras lo cual la balsa podría llegar a recuperar teóricamente su tasa de infiltración inicial.

2 APLICACION PRACTICA

2.1 Situación inicial

No queriendo que esta propuesta fuera una sola entelequia matemática y teórica se ha resuelto un caso práctico para la demostración de la metodología. La aplicación en cuestión responde al dimensionamiento de los filtros de fondo de las balsas A y C de las instalaciones de recarga artificial construidas en el acuífero aluvial del río Oja (La Rioja).

Las condiciones que rigen la recarga dependen tanto de las características del acuífero y suelo como del agua de recarga. En cuanto a la primera cabe decir que se trata de un acuífero aluvial, formado por arenas y gravas, que llegan a ser grandes bolos, con una permeabilidad realmente alta, lo que indica tasas de infiltración muy elevadas. En cuanto al agua de recarga se puede clasificar como limpia, ya que procede de la cabecera del río y de la zona alta del acuífero, presentando tan sólo 10 p.p.m de sólidos en suspensión, salvo en períodos puntuales correspondientes a la época de deshielo y a grandes escorrentías esporádicas asociadas a intensas lluvias. En principio, se ha estimado que no se producen fenómenos de colmatación por precipitados químicos ni biológicos. Así pues, a la entrada de las balsas de recarga se tiene un agua limpia y desarenada.

Durante la experiencia de recarga correspondiente al año 1988 se controló la evolución de la tasa de infiltración y se obtuvieron los siguientes resultados (tabla 1) para volúmenes infiltrados. En la tabla 2 se muestra el peso de los sólidos en suspensión depositados.

Mes	Balsa A (m³)	Balsa C (m³)
Enero	429776.7	62911.1
Febrero	440311.2	67880.6
Marzo	502230.4	42562.4
Abril	363778.7	9527.8
Mayo	307285.4	28255.8
Junio	141617.7	12483.3
Julio	83814.3	3265.3

Tabla 1. Volúmenes infiltrados durante la recarga.

Mes	Balsa A (Tm)	Balsa C (Tm)
Enero	4.2	0.62
Febrero	4.4	0.67
Marzo	5.0	0.42
Abril	3.6	0.095
Mayo	3	0.28
Junio	1.4	0.12
Julio	0.8	0.032

Tabla 2. Peso de sólidos depositados en las balsas de recarga.

La reducción de la tasa de infiltración ha sido modelizada por algunos autores (Custodio 1986) mediante fórmulas exponenciales, entre la que se destaca la siguiente por su adecuación al caso de estudio.

$$I = I_0 \cdot e^{(-\beta \cdot SS \cdot X \cdot V)} = I_0 \cdot e^{-c \cdot t} \quad (1)$$

en la que:

I, I₀ = tasa de recarga, actual e inicial (L/T)

b = coeficiente de propiedades colmatantes (L²/M)

SS = concentración de materiales en suspensión (M/L³)

(1) Todas las curvas representadas en este artículo responden a esta fórmula, a excepción de las que muestran el factor de retención en función de la profundidad, por lo que en lo que sigue, sólo se especificarán los parámetros I₀ y c.

X = fracción de materiales en suspensión retenidos adim.

V = volumen de agua infiltrada. $\int_0^t I \cdot dt$ (L)

Se han ajustado curvas de este tipo a los datos de las tasas de infiltración, de las dos balsas correspondientes a las instalaciones del río Oja, obteniéndose las curvas representadas en las figuras 1 y 2.

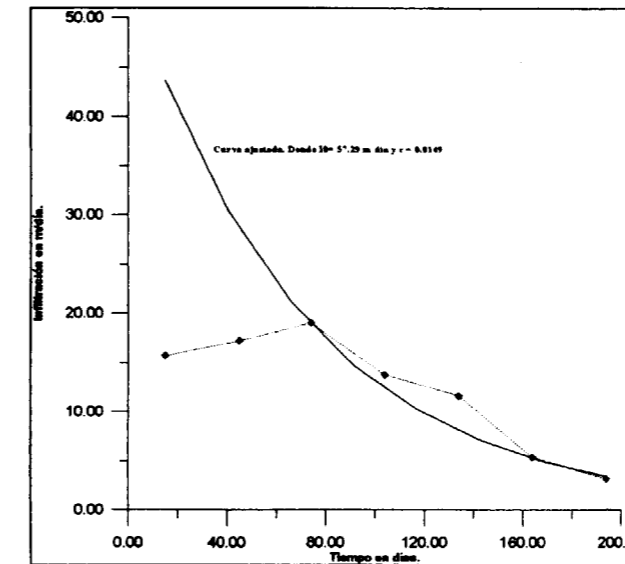


Figura 1. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa A.

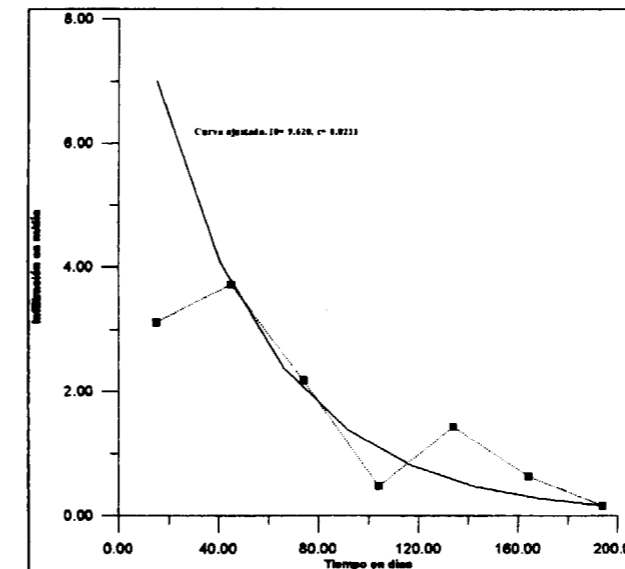


Figura 2. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa C.

Los parámetros que se han estimado para ajustar las curvas anteriores son:

Parámetros	Balsa A	Balsa C
I ₀	57.29	9.62
c	0.0149	0.0211

Tabla 3. Parámetros de las curvas ajustadas. Figuras 1 y 2.

En este ajuste se supone que el parámetro X es igual a uno, dado que en esta experiencia no existe filtro, y además todos los sólidos son retenidos por el suelo. El análisis de la fórmula que relaciona la evolución de la tasa de infiltración con el tiempo (1), proporciona que todos los factores de la misma son constantes con excepción del parámetro X. Este parámetro se puede variar mediante la instalación de un filtro de fondo, con lo cual los materiales serán retenidos por el filtro y no por el suelo. La colmatación se producirá en los materiales constitutivos del filtro y no en los del suelo, lo que lleva de una situación de colmatación irreversible a una situación de colmatación reversible dada la existencia del nuevo elemento filtrante, susceptible de ser regenerado.

2.2 Propuesta

La propuesta que se analiza consiste en dimensionar un filtro, que maximice la cantidad de sólidos retenidos por él y que, sin su presencia, se cederían al suelo y al acuífero. Es decir, en una balsa de recarga se tiene un sistema, en principio, compuesto por tres zonas o agentes, el filtro, el suelo y el acuífero. Lo que se pretende es que los sólidos retenidos por el suelo, que son los que constituyen la colmatación irreversible, sean mínimos. Para esto se busca la colaboración tanto del filtro como del acuífero, ya que parte de los sólidos disueltos acaban en el torrente subterráneo, viajando a una mayor distancia, y por tanto, no comportándose como colmatantes en el entorno inmediato. Cabe decir que esta última afirmación será función de la cantidad real de dichos sólidos y de las características hidrogeológicas e hidrodinámicas del acuífero.

Un diagrama de bloques de lo anteriormente expresado se representa en la figura 3.

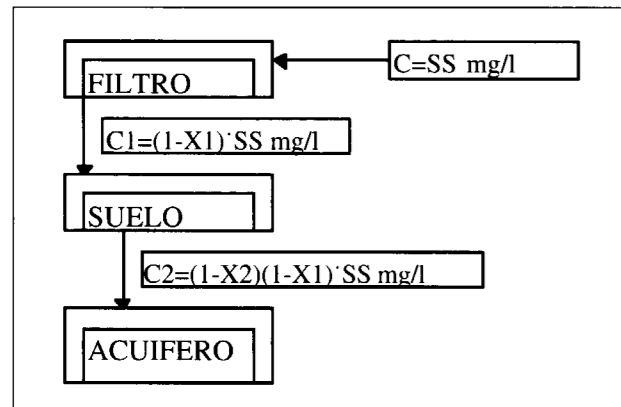


Figura 3. Esquema del funcionamiento del sistema Filtro-Suelo-Acuífero.

Para determinar las características idóneas del filtro, que maximice la cantidad de sólidos en suspensión retenidos en el mismo, se ha empleado (Custodio, 1986) la expresión:

$$\alpha = 1 - 0.027 \cdot B^{-0.25} \cdot (I \cdot SS)^{0.33} \cdot d \quad (2)$$

B = espesor de relleno filtrante en m
 d = diámetro medio del material del filtro en mm.
 I = tasa de infiltración en m/día.

Particularizando para el caso concreto de las instalaciones del río Oja y adoptando $I=I_0$ las expresiones de X para las balsas A y C son:

$$\alpha = 1 - 0.219 \cdot B^{-0.25} \cdot d \quad (3)$$

para la balsa A y:

$$\alpha = 1 - 0.121 \cdot B^{-0.25} \cdot d \quad (4)$$

para la balsa C.

Debe tenerse en cuenta que se ha supuesto que la tasa de infiltración, al menos la inicial, que es la que más interesa, no ha disminuido por la adición del filtro. En rigor el proceso de cálculo de un filtro es iterativo. Primero se calcula el filtro

con la suposición de una tasa de infiltración constante, tras su dimensionamiento se estima la disminución de la tasa de infiltración y, posteriormente, se recalculan de nuevo los factores de retención, los cuales serán mayores, por la ya expuesta relación velocidad-deposición. En nuestro caso los materiales del filtro se han supuesto, para simplificar, en cuanto a granulometría, no muy distintos a los del suelo, por lo que no se ha procedido al recálculo de la tasa de infiltración. Este recálculo se hará particularmente importante a medida que el tamaño de los materiales que constituyen los filtros sean distintos de los que forman el suelo.

Gráficamente, de las fórmulas anteriores se obtienen los ábacos representados en la figura 4. A la vista de los gráficos anteriores se deduce que a menor granulometría del material del filtro mayor será la retención y, por tanto, menos material pasa al suelo para colmatarlo. Análogo

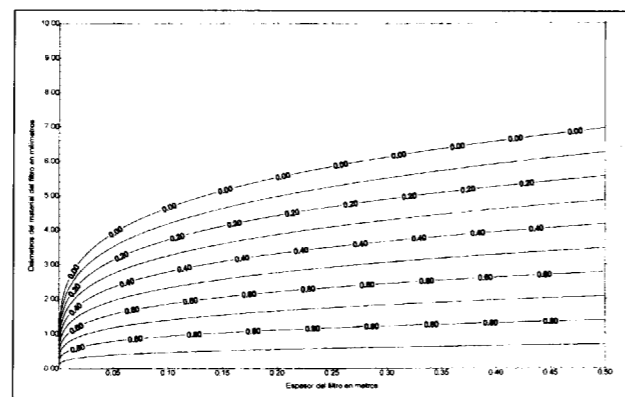
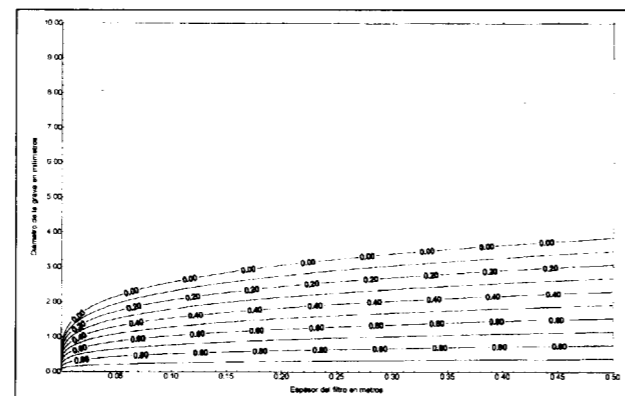


Figura 4. Factor de retención (isolíneas) en función del espesor y de la granulometría. Balsas A (sup.) y C (inf.)

amente ocurre con el espesor, a mayor espesor mayor retención. No obstante se observan algunas limitaciones, la primera concerniente a la granulometría se relaciona con la tasa de infiltración e implica que esta última se reduzca cuando la primera sea demasiado fina. La segunda se refiere al espesor, ya que a partir de un cierto valor por mucho que se aumente el espesor, la tasa de retención no aumenta. Es más, a partir de un determinado momento las curvas son asintóticas a la horizontal, lo que indica la existencia de un límite para el espesor. Esta última premisa comporta que la colmatación se produce, en su casi totalidad, en los primeros centímetros del material.

En el caso particular del río Oja, el dimensionamiento del filtro, teniendo presente que las balsas tienen una profundidad máxima de 50 cm, no debería sobrepasar los 20 cm. Si en los ábacos de la figura 4 se consideran un espesor de 0.10 cm para la balsa A y 0.15 para la balsa C, se comprueba que en la balsa A la tasa de retención para una granulometría de 1mm es 0.65 y en la balsa C con 2mm de tamaño de grava de 0.62. La elección del tamaño de grava o arena no es arbitrario, ya que cuanto más fina y mejor calibración posee más cara es. Si se aumenta el espesor aumentaría el volumen del filtro, y por tanto el coste del mismo, pero el aumento en la tasa de retención no compensa esta operación. Igualmente, la reducción de granulometría tampoco se justifica, pues el precio de la grava o arena calibrada aumenta conforme disminuye el diámetro de la misma.

En virtud de los valores considerados anteriormente se tiene que en los filtros de la balsa A y C quedan retenidos respectivamente el 65 % y 62 % de los sólidos en suspensión, por lo que el agua de recarga a la salida de los filtros posee las siguientes concentraciones: 3.5 p.p.m en la balsa A y 3.8 en la balsa C. El agua de salida del filtro será el agua de entrada al suelo. Las nuevas curvas que representan la evolución de la tasa de infiltración se pueden estimar de manera análoga a las deducidas sin utilización de filtros.

Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 5 y 6 y en la tabla 4.

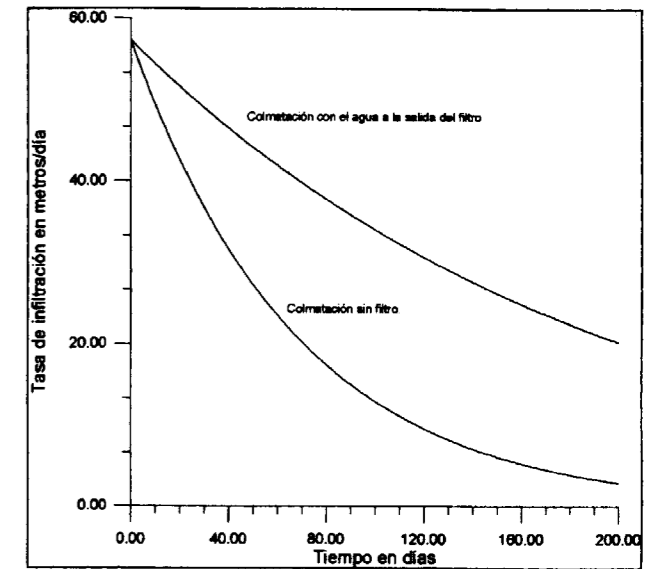


Figura 5. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa A.

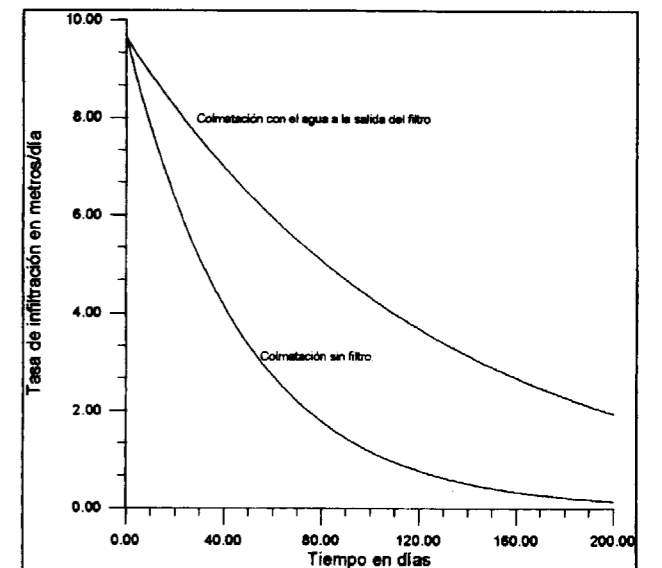


Figura 6. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa C.

Parámetros	Balsa A	Balsa C
I_0	57.29	9.62
c	0.00521	0.00801

Tabla 4. Parámetros de las curvas ajustadas a la variación de la tasa de infiltración en el filtro. Figuras 5 y 6.

A la vista de estas gráficas se comprueba que la disminución de la tasa de infiltración es más lenta en virtud de la menor cantidad de sólidos en suspensión que se aportan. No obstante lo más interesante que se desprende de la metodología es que, dada la proximidad del nivel freático a la superficie, entre 1 y 2 metros, parte de estos sólidos se dispersarán en las aguas del acuífero, por lo que los sólidos retenidos en el suelo realmente serán menores. Para estimar esta nueva disminución de sólidos colmatantes, se va a tratar al suelo como un filtro, y se va a representar el factor de retención en función del espesor atravesado, es decir de la profundidad. El suelo está constituido por una matriz arenosa con un tamaño medio de 3 milímetros. Por tanto, las ecuaciones que ligán el factor de retención con la profundidad son:

$$K = 1 - 0.465 \cdot B^{-0.25} \quad (5)$$

para la balsa A y

$$K = 1 - 265 \cdot B^{-0.25} \quad (6)$$

para la balsa C.

Estas ecuaciones resultan de sustituir los valores

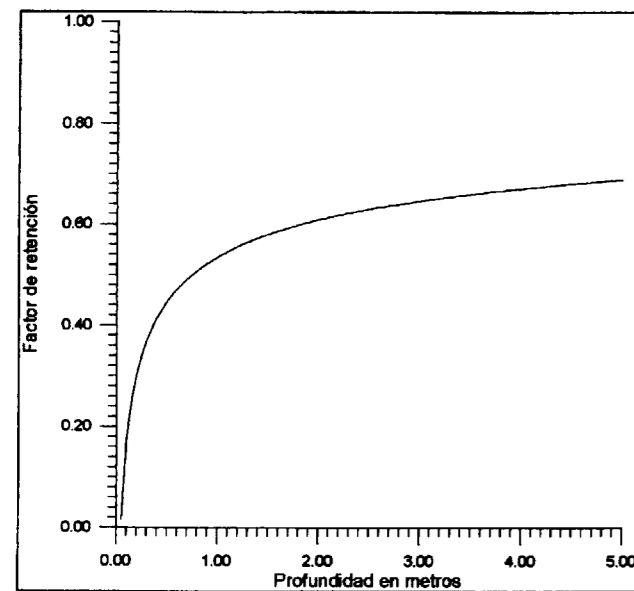


Figura 7. Factor de retención en función de la profundidad. Balsa A

conocidos de I, SS y d en la ecuación general del factor de retención.

En base a las curvas representadas en los gráficos 7 y 8, se aprecia que del total de sólidos que

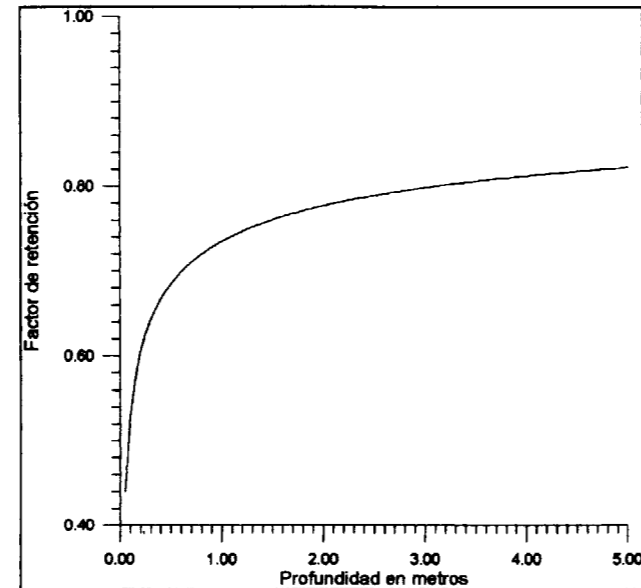


Figura 8. Factor de retención en función de la profundidad. Balsa C

salen del filtro, sólo pasan al acuífero, a una profundidad de 2 metros, el 40 % en la balsa A es decir se quedan en el suelo el 60 % lo que suponen 2.1 p.p.m. Mientras que en la balsa C a 2 metros se han depositado 2.9 p.p.m es decir el 77 % del total.

Con estos nuevos datos se rehacen las curvas de evolución de la tasa de infiltración. Lo que supone que en la balsa A sólo se depositan 2.1 mg/l. Es decir, sobre un total de 3.5 hay una retención del 60 %. Y en la balsa C 2.9 mg/l de un total de 3.8 mg/l, lo que supone el 77% así los coeficientes hallados en las curvas de las figuras 4 y 5 se deben multiplicar por estos porcentajes. (figuras 9 y 10, tabla 5).

El cálculo realizado permite deducir que el filtro retiene 6.5 p.p.m en la balsa A y 6.2 p.p.m en la C, además en suelo retiene 2.1 p.p.m en la balsa A y 2.9 en la balsa C, y al acuífero se vierten por tanto 1.4 p.p.m en la balsa A y 0.9 p.p.m en la balsa C.

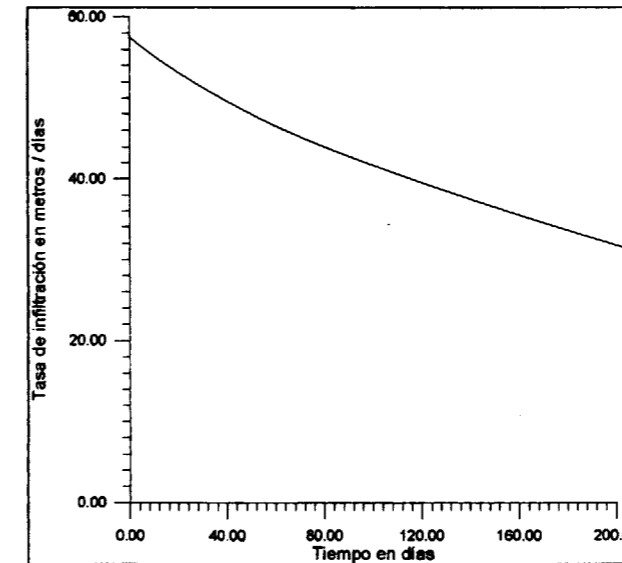


Figura 9. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa A.

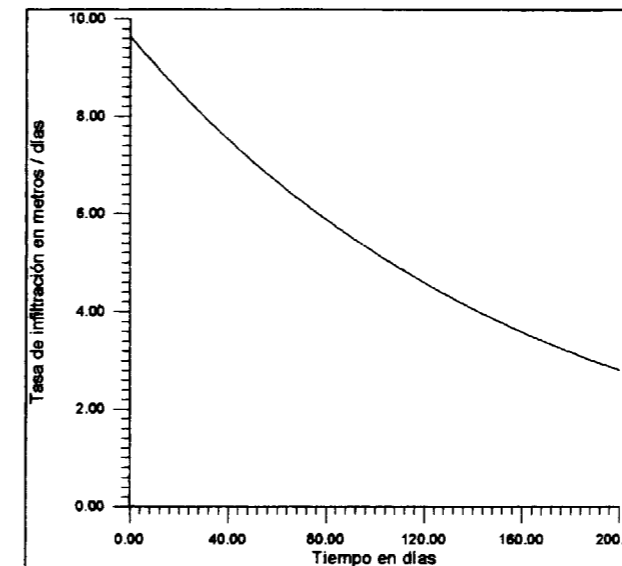


Figura 10. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa C.

Parámetros	Balsa A	Balsa C
I_0	57.29	9.62
c	0.00312	0.00616

Tabla 5. Parámetros de las curvas ajustadas. Figuras 9 y 10.

Si se analiza el conjunto Filtro-Suelo, se comprueba que en la balsa A se retienen el 86 % de los sólidos en suspensión y en la balsa C el 91 %, por lo que la curva de evolución temporal de la tasa de infiltración queda con los parámetros siguientes.

Parámetros	Balsa A	Balsa C
I_0	57.29	9.62
c	0.0128	0.0192

Tabla 6. Parámetros de las curvas ajustadas. Figuras 11 y 12.

Estos parámetros resultan de multiplicar en la ecuación del comportamiento sin filtro, el exponente por los factores de retención correspondientes. Las gráficas correspondientes se muestran en las figuras 11 y 12.

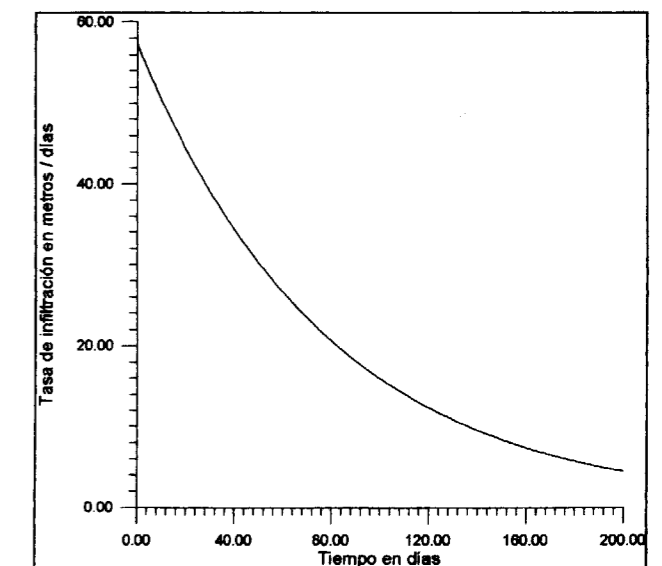


Figura 11. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa A.

2.3 Análisis de resultados.

Las dos gráficas anteriores indican que no parece haber mucha mejoría en el sistema filtro-suelo. No obstante si se considera que el filtro se puede limpiar, se tiene que cada poco tiempo se puede

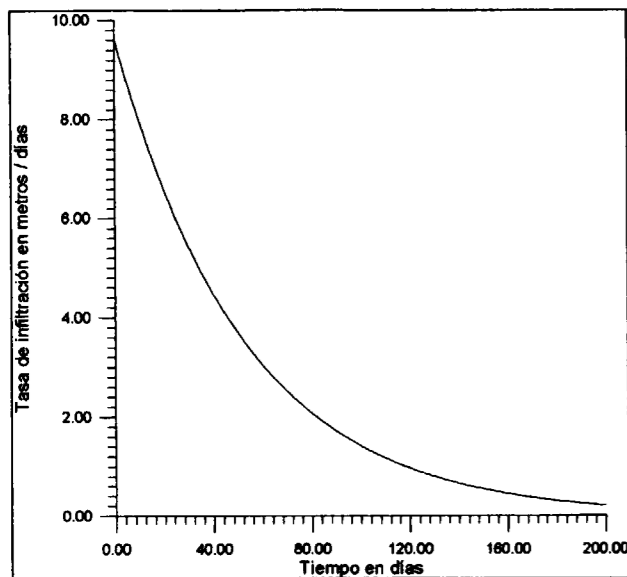


Figura 12. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa C.

recuperar parte de la tasa de infiltración natural del suelo. Esta tasa no será la inicial, por la pequeña e inevitable colmatación que ha sufrido el suelo. La situación de las balsas con una limpieza periódica cada 120 días se muestra en las figuras 13 y 14.

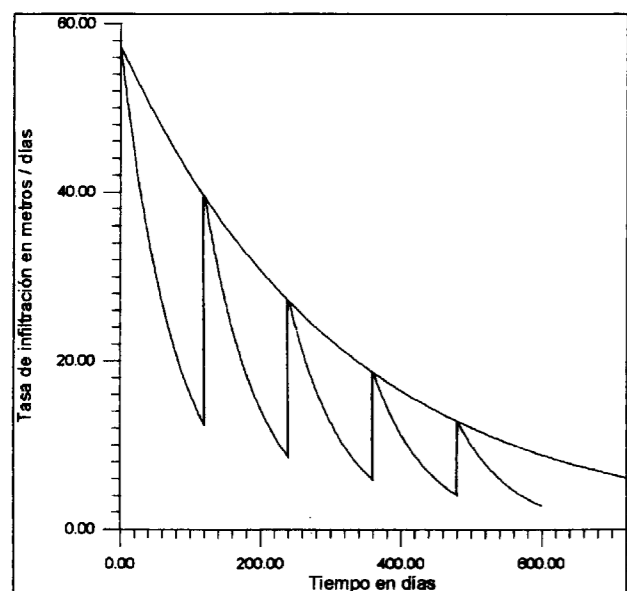


Figura 13. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa A.

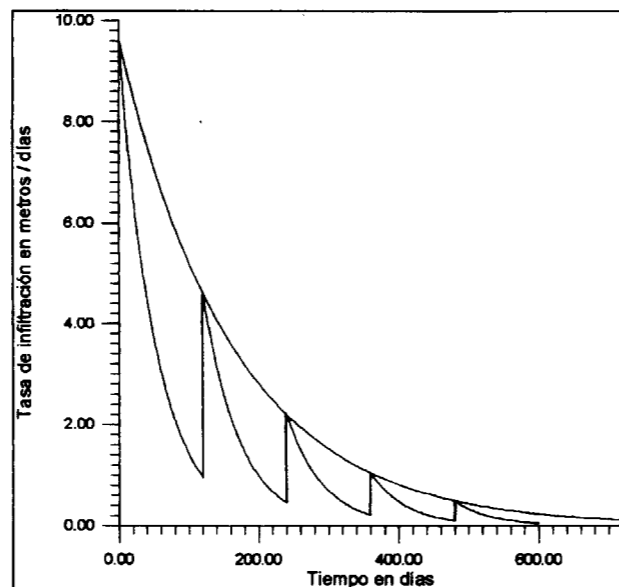


Figura 14. Curva de evolución de la tasa de infiltración. Balsa C.

3 CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden extraer de este estudio son varias, pero la más evidente, a la vista de la exposición anterior, se relaciona con la necesidad de establecer un correcto dimensionamiento de los filtros para abaratar los costes y alargar la vida útil de las instalaciones de recarga. En el caso concreto, ensayado en el presente artículo, las balsas poseían una vida de 7 meses continuos de funcionamiento. El empleo de filtros amplía este período a 3 años en el caso de la balsa A y de casi 2 en la balsa C. Por supuesto de funcionamiento continuo.

En general el factor de retención debe seguir una ley del tipo:

$$K = 1 - A \cdot (I \cdot SS)^B \cdot D \cdot B^{-C} \quad (7)$$

Estos parámetros se pueden estimar mediante ensayos en laboratorio, para que las condiciones de tanteo sean las más próximas a las reales.

REFERENCIAS

ASANO, T. (1985) "Artificial Recharge of Groundwater" Butterworth Publishers.

CUSTODIO E. (1986) "Recarga artificial de acuíferos. Avance y realizaciones" Boletín de Informaciones y Estudios. Núm. 45. MOPT. Servicio Geológico.

I.T.G.E (1986) "Estudio hidrogeológico del acuífero cuaternario del río Oja"

I.T.G.E (1987) "Primeras experiencias de recarga artificial en el acuífero del río Oja"

I.T.G.E (1991) "Estudio de los aspectos económicos y de la

gestión de la recarga artificial del acuífero cuaternario del río Oja"

MURILLO DIAZ, J. M. (1994) "Efecto de la colmatación en la estimación de la vida útil de una instalación de recarga artificial" Boletín Geológico y Minero. Vol. 105-6 Año 1994 (pág 557-565).

VILLANUEVA MARTINEZ, M; CANDIL GONZALO, J; IGLESIAS LOPEZ A. (1988) "Recopilación de criterios para selección de la grava de macizos filtrantes" Boletín Geológico y Minero. T.XCIX-II. Año 1988 (pág 280-286).

Original recibido: Septiembre 1996.

Original aceptado: Diciembre 1996.

ACUIFEROS EN GRANITOS FRACTURADOS: UN EJEMPLO AL SUROESTE DE BAILEN (PROVINCIA DE JAEN)

Por L. REDONDO (*) y J. REY (**)

RESUMEN

Se ha estudiado la fracturación que presentan los granitos al suroeste de Bailén (provincia de Jaén). Estas estructuras favorecen la circulación de agua, por lo que ofrecen un indudable interés hidrogeológico. La localización de estos acuíferos se realiza básicamente a partir de métodos geofísicos, concretamente mediante S.E.V. Los caudales en granitos, que suelen ser muy escasos o nulos, superan en estos casos los 10-15 l/s, llegando incluso a los 50 l/s.

Palabras clave: Granito fracturado, Acuífero, Prospección geofísica.

ABSTRACT

Fractured granites south-western Bailén region (Province of Jaén) have been studied. Due to this structures provide water circulation, they have a great hidrogeological interest. Aquifers location is based in geophysical survey (S.E.V.). Though flow in granites is generally limited or null, in this subject it is over 10-15 l/s, even 50 l/s.

Key words: Fractured granite, Aquifer, Geophysical survey.

INTRODUCCION

En los últimos años ha aumentado el interés por conocer la capacidad acuifera de materiales cristalinos (ígneos o metamórficos), considerada clásicamente como de escasa o nula importancia. En este sentido, en 1993, la Asociación Internacional de Hidrogeólogos celebró un congreso monográfico sobre "hard rocks". En esta reunión se insistió en la trascendencia que localmente pueden tener estas litologías, por lo que se plantearon modelos para explicar el aumento de la porosidad de estas rocas (básicamente fracturación) y se expusieron distintas metodologías de estudio (véanse los trabajos de HAENI *et al.*, 1993; HENKEL, 1993; NAYUDU & REDDY, 1993; RANDALL-ROBERTS, 1993; entre otros).

Siguiendo esta línea, en este trabajo se presenta un ejemplo de acuífero en rocas plutónicas afectadas por una intensa fracturación. Concretamente, el estudio se centra en el plutón granítico que aflora extensamente al oeste de Bailén (provincia de Jaén) y que aparece en el subsuelo de regiones más meridionales. Se han seleccionado once sectores, en los que, tras distintas campañas de prospección, se realizaron sondeos para explotar dicho acuífero.

CONTEXTO GEOLOGICO

Desde el punto de vista geológico, en esta región se diferencian dos unidades de rango mayor: el conjunto paleozoico, materiales que forman gran parte de los relieves circundantes además del sustrato del sector, y la cobertera posthercínica.

La primera de estas unidades está constituida

(*) Geólogo Consultor. Avda. Libertad 2, Ubeda.

(**) Escuela Univ. Politécnica de Linares. Dpto. de Geología. Universidad de Jaén.

básicamente por materiales metamórficos (filitas, con intercalaciones de cuarcitas, "a" en la Fig. 1) intensamente replegados, rocas ígneas (granitos y diques intrusivos, "b" en la Fig. 1), y materiales afectados por un metamorfismo térmico en el contacto de ambos conjuntos ("c" en la Fig. 1).

Discordantemente sobre el zócalo anteriormente comentado aparece la cobertera posthercínica, que se dispone de forma subhorizontal. Presenta unos espesores muy variables ya que, centrándonos exclusivamente en el sector estudiado, éstos varían entre los 0 y 200 m. La integran materiales triásicos, neógenos y cuaternarios. El Triás, con facies propias de la Cobertera Tabular de la Meseta, lo componen arcillas rojas con intercalaciones de areniscas micáceas, y puntualmente, conglomerados ("d" en la Fig. 1). El relleno Neógeno (Mioceno superior-Plioceno, "e" y "f" en la Fig. 1) lo forma básicamente margas, entre las que aparecen niveles de areniscas, limos y/o conglomerados. Los materiales cuaternarios, generalmente de origen aluvial, están constituidos por arenas, limos y conglomerados.

Regionalmente, estos materiales están afectados por dos direcciones predominantes de fracturación: la primera de dirección N.NE.-S.SO., y la segunda, y de menor importancia, N.NO.-S.SE. Estas dos familias individualizan una serie de bloques tectónicos que han funcionado desde el triásico a la actualidad (MARIN SEÑAN, 1988), repercutiendo en las características hidrogeológicas regionales.

UNIDADES ACUIFERAS

Los materiales aluviales cuaternarios y los neógenos constituyen acuíferos de baja productividad y de régimen intermitente. Los caudales en las captaciones realizadas en la región no superan 1-2 l/s. Los niveles de areniscas y conglomerados del Triás Tabular forman un acuífero multicapa, que ofrece caudales generalmente del orden de 1-4 l/s en el sector.

Infrayacente al Triás, la parte superior del granito

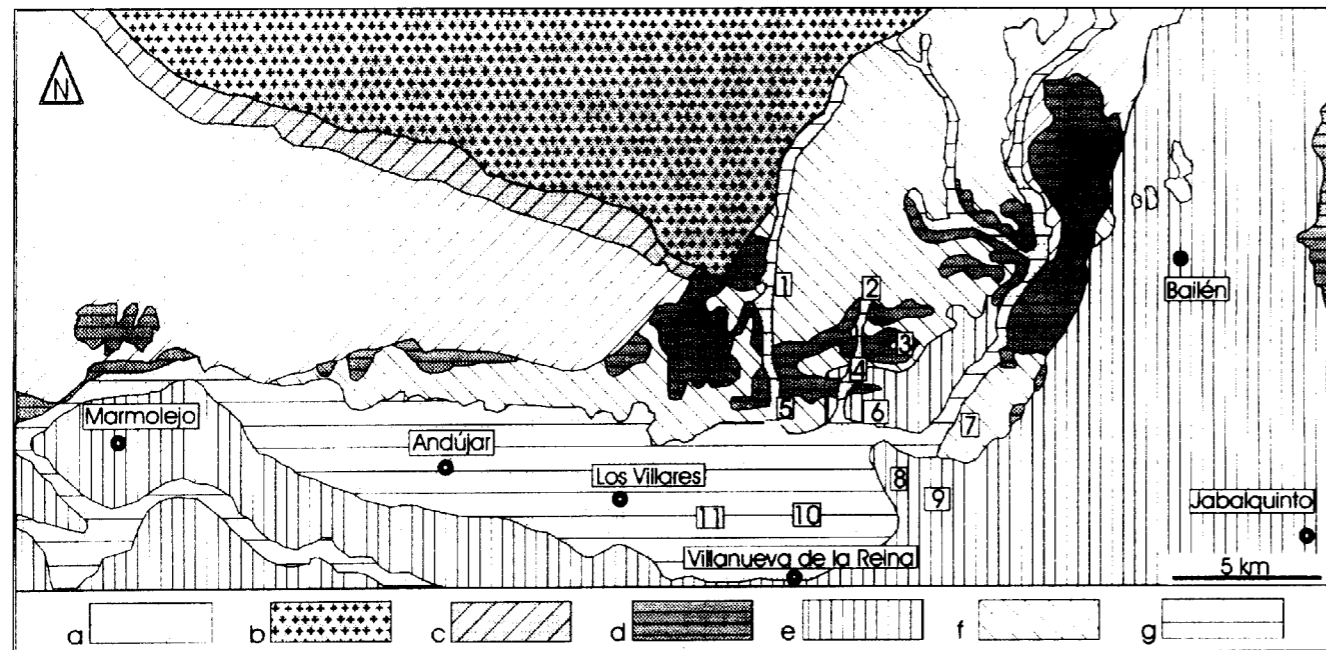


Fig. 1.- Cartografía geológica (basada en Fontbote, 1982) del sector estudiado en la que se sitúan los distintos sondeos realizados, numerados de 1 a 11. Leyenda: a.- Filitas y cuarcitas (Paleozoico). b.- Granito. c.- Pizarras afectadas por metamorfismo de contacto. d.- Conglomerados, areniscas y arcillas (Triásico). e.- Margas, arenas y calcarenitas (Mioceno superior). f.- Conglomerados, arenas y limos (Plioceno). g.- Aluvial (Cuaternario).

suele estar alterada, lo que le confiere cierta porosidad, y por tanto, capacidad para funcionar como acuífero. Esto justifica las pequeñas captaciones existentes, de escasos metros de profundidad, que explotan esta unidad. Sin embargo, la importancia del mismo es muy limitada, a lo que se une su régimen intermitente, dado que los caudales son prácticamente nulos en intervalos dilatados de sequía.

Aunque el granito funciona mal como acuífero, existen fracturas que le confieren cierta productividad. Al igual que en otros sectores (GONZALEZ-YELAMOS *et al.* 1993), estas estructuras sue-

len cerrarse en profundidad en la región, lo que disminuye progresivamente la capacidad de circulación de las aguas subterráneas. Sin embargo, y tal como demuestran los autores anteriormente comentados, localmente la permeabilidad puede aumentar en profundidad.

Las distintas campañas de prospección geofísica realizadas en la zona tienen como objetivo fundamental no sólo el llegar a conocer la posición del contacto cobertera-granito, sino que también, la existencia y penetración de las posibles redes de fracturas, que le permitan, a éste último, funcionar como acuífero.

AB/2	Resist. ap.
10	163
20	152
30	179
40	209
50	218
60	231
70	249
80	251
90	272
100	296
100	229
120	241
140	254
160	256
180	260
200	281
220	290
240	315
260	343
280	368
300	376
320	377
340	432
360	449
380	444
400	507
420	536
440	580
460	611
480	649
500	644

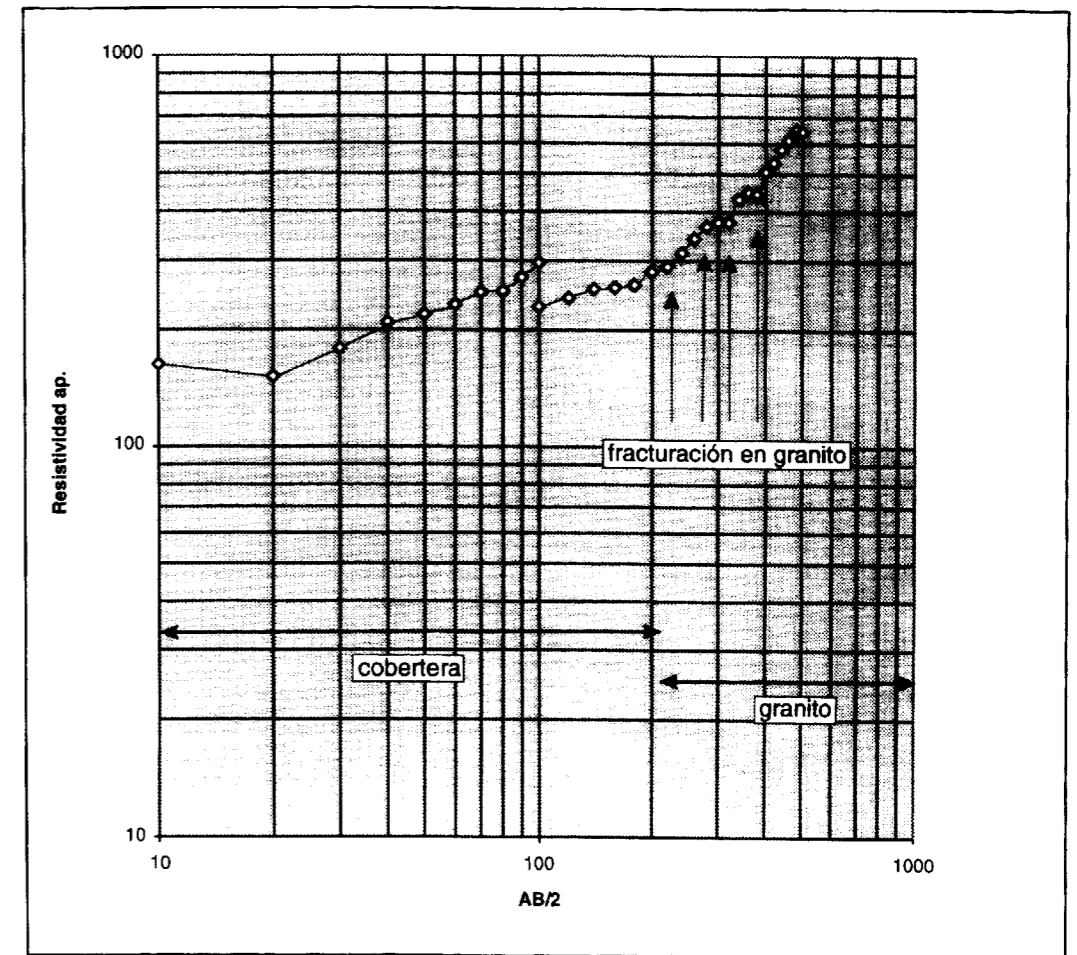


Fig. 2.- Representación de la resistividades aparentes, en función de los distintos valores de AB/2, en el punto elegido para la realización del pozo 3. MN= 4 m si AB/2_100. MN= 40 si AB/2>100. En el sector de la curva interpretado como granito, existen bajadas de la resistividad que se relacionan con fracturas con agua, lo que posteriormente se confirmó al realizar la captación.

PROSPECCION GEOFISICA

A la hora de considerar la existencia de acuíferos potenciales en el granito, es fundamental la localización de fracturas. La fragmentación de la roca por tectónica y el impacto de la meteorización consiguen cambios en la densidad de las litologías, resistividad eléctrica, susceptividad magnética o de radiación gamma (HENKEL, 1993).

En este sentido, NAYUDU & REDDY (1993), diferencian a partir de métodos geoelectricos, la profundidad y espesor de granitos meteorizados, lo que representan en mapas de isoresistividades, para poder así considerar la existencia de acuífe-

ros potenciales. HAENI *et al.* (1993), a partir de la medida de resistividades aparentes, localizan lineaciones de fracturas. RANDALL-ROBERTS (1993) detectan estas estructuras mediante distintos métodos geofísicos (S.E.V., E.M.V.L.F. y Potencial Espontáneo).

En este trabajo se ha optado por la utilización de los Sondeos Eléctricos Verticales (S.E.V.), realizando distintas campañas en cada uno de los sectores señalados en la Fig. 1. Se ha empleado la metodología tetraelectrónica de Schlumberger con dispositivo simétrico (véase CUSTODIO & LLAMAS, 1983). La medición de las estaciones de AB/2 se ha realizado lineal, en vez de logarítmica,

AB/2	Resist. ap.
10	696
20	473
30	344
40	287
50	296
60	263
70	266
80	251
90	254
100	243
100	248
120	239
140	231
160	241
180	248
200	248
220	259
240	275
260	271
280	294
300	235
320	300
340	340
360	348
380	350
400	392
420	418
440	441
460	463
480	478
500	493

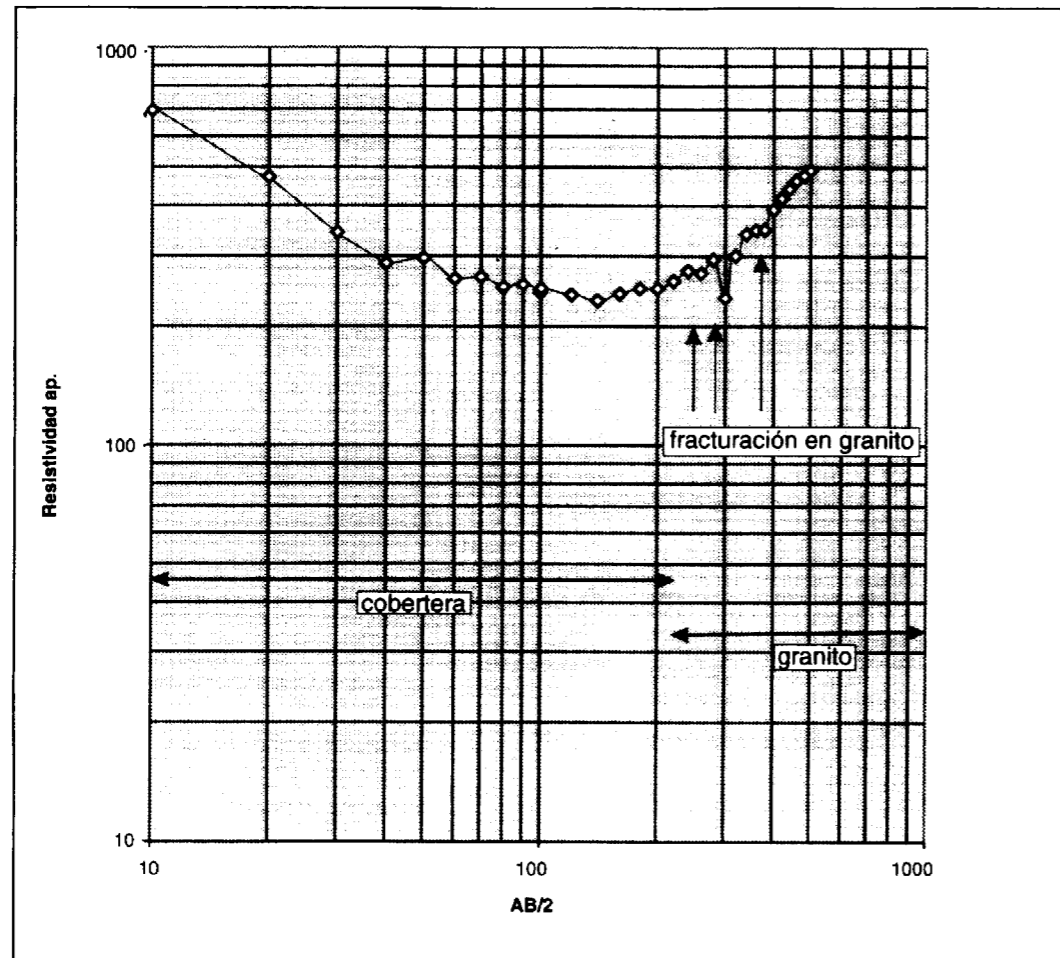


Fig. 3.- Representación de las resistividades aparentes, en función de los distintos valores de AB/2, en el punto elegido para la realización del pozo 6 (véase la explicación de la figura anterior).

con el fin de detectar cambios litológicos con un error inferior al 5%, localizar estratos de poco espesor en profundidad y determinar niveles anómalos eléctricamente. Esta modificación del método Schlumberger ya fue utilizada anteriormente por VILLUENDAS (1987).

Los gráficos de resistividades aparentes se han ajustado por ábacos a las curvas teóricas (ORE-

LLANA & MOONEY, 1966). Al tomar las medidas linealmente en vez de logarítmicas, pueden aparecer sucesiones de puntos de resistividades anómalas que se deben a las caídas de potencial, motivadas por el movimiento de electrolitos (efecto de electro-filtración). En las Fig. 2 y Fig. 3 aparecen dos ejemplos S.E.V. realizados en el sector 3 y 6, respectivamente. En la parte de la curva interpretada como propia del granito (con

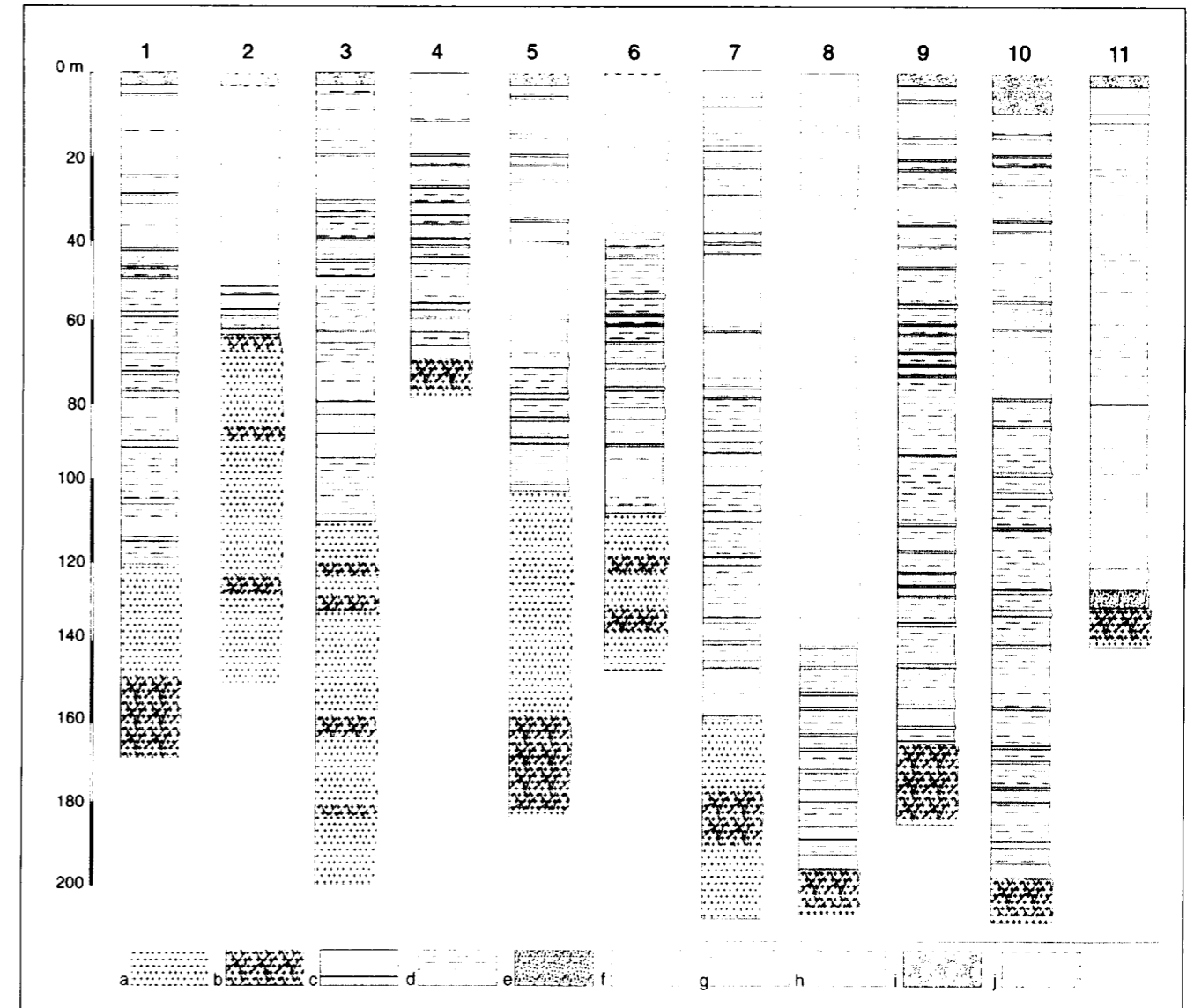


Fig. 4.- Columnas estratigráficas levantadas en los puntos señalados en la fig. 1. Para la elaboración se ha tenido presente la geología regional, los datos de la investigación geofísica, así como la información del propio pozo. Leyenda: a.- Granito. b.- Granito fracturado. c+d= materiales del Triás. c.- Areniscas micáceas rojas. d.- Arcillas rojas. e+f+g+h+i+j= materiales neógenos o cuaternarios. e.- Microbrecha. f.- Areniscas. g.- Margas. h.- Margas con finas intercalaciones detríticas. i.- Conglomerado. j.- Limos y margas, a veces con cantos.

resistividades en torno a 2.000 ohm/m) existen anomalías (con resistividades inferiores a los 250 ohm/m), que se relacionan con circulación de agua en fracturas.

SONDEOS MECANICOS REALIZADOS

Tras los trabajos de exploración, se realizaron once sondeos mecánicos. Como sistema de perforación se optó por la rotopercusión neumática con martillo en fondo, utilizando la Zahorí 1.206. A pie de obra se pudieron cotejar las anomalías negativas en las resistividades del granito, interpretadas en el apartado anterior en relación al flujo por fracturas, y los "golpes de agua". Así, los cuatro descensos en resistividades de la Fig. 2 se correlacionan perfectamente con granitos fracturados con agua (véase la Fig. 4). Para la gráfica de la Fig. 3 (pozo 6), sólo se pudo hacer para las dos primeras ya que la tercera anomalía no pudo comprobarse dado que el sondeo no superó los 150 m de profundidad.

Esta sistemática se llevó a cabo en todos los sectores. En la Fig. 4 aparecen las columnas estratigráficas sintéticas elaboradas a partir de los datos geológicos regionales y los valores de las resistividades, verificadas al realizar los distintos sondeos mecánicos. Los caudales de todos ellos son superiores a 15 l/s, llegando a ser incluso del orden de los 50 l/s (2, 4, 6, 8 y 11). En nueve de los once sondeos (1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 10 y 11) los caudales se estiman a partir de las explotaciones realizadas: están instalados en fincas, en las que en los períodos de riego (unos seis meses al año), se bombean, bien caudales continuos, bien de 12 horas/día, sin que se observen descensos considerables a pesar de las intensas sequías de los años 1992-1993-1994. En dos de los sondeos (3 y 6) se han realizado ensayos escalonados (4 escalones), sin recuperación de niveles, durante 24 horas. A partir de estos estudios se estimaron máximos de explotación del orden de 25 l/s y 75 l/s, respectivamente. Los caudales óptimos de explotación se fijaron en 20 l/s y 50 l/s, respectivamente.

En la Fig. 4 se observa la profundidad, en algunos casos bastante considerable, a la que aparece el granito fracturado en cada captación. En este

sentido, y tal como se ilustra en el dibujo, en el sondeo número 5 éstas se presentan a unos 80 m bajo el techo del batolito.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presta especial interés al análisis del granito al suroeste de Bailén desde el punto de vista acuífero. Este sustrato cristalino, que constituye la unidad volumétricamente más importante de la región, está constituido por rocas muy poco porosas. La parte más superficial puede meteorizarse, lo que genera cierta porosidad secundaria. Pese a ello, los caudales son intermitentes y no suelen superar los 2-3 l/s, por lo que son acuíferos de escasa importancia.

En este trabajo la prospección se ha centrado en la fracturación en profundidad de estas masas. Los métodos geofísicos empleados han permitido detectar estas estructuras a más de 80 m bajo la superficie de techo del granito, donde los caudales obtenidos pueden superar los 15 l/s, llegando incluso a los 50 l/s.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dra. M.C. Hidalgo y a los referis la lectura crítica del manuscrito.

REFERENCIAS

- CUSTODIO, E. & LLAMAS, R. (1983): Hidrología Subterránea. 2 Tomos. Ed. Omega, Barcelona, 2.350 p.
- FONTBOTE, J. M. (1982): Mapa geológico y memoria explicativa de la hoja 70 (Linares), escala 1:200.000, I.G.M.E., 29 p.
- GONZALEZ-YELAMOS, J., HERRAEZ, I. & VILLARROYA, F. (1993): Permeability variations in hard rocks at Guadarrama Sierra (Central Spain). *In* Hidrogeology of hard rocks (Sheila and David Banks, eds.), I.A.H. Memoires, Volume XXIV, part 1, 74-81.
- HAENI, F. P., LANE, J. W. JR. & LIEBLICH, D.A. (1993): Use of surface-geophysical and borehole-radar methods to detect fractures in crystalline rocks, Mirror Lake area, Grafton county, New Hampshire. *In* Hidrogeology of hard rocks (Sheila and David Banks, eds.), I.A.H. Memoires, Volume XXIV, part 1, 577-587.

HENKEL, H. (1993): The location of fractured aquifers by use of surface geophysical methods. *In* Hidrogeology of hard rocks (Sheila and David Banks, eds.), I.A.H. Memoires, Volume XXIV, part 1, 521-533.

MARIN SEÑAN, J. M. (1988): Sedimentación detrítica en el borde norte de la depresión del Guadalquivir (sector de Villanueva de la Reina, Prov. de Jaén). II Congr. Geol. de España, Comunicaciones, 1, 123-126.

NAYUDU, P. T. & REDDY, S. S. (1993): A resistivity survey for delineation of groundwater potential zones in the Palar Basin, Chittoor District, Andhra Pradesh, India. *In* Hidrogeology of hard rocks (Sheila and David Banks, eds.), I.A.H. Memoires, Volume XXIV, part 1, 607-620.

ORELLANA, E. & MOONEY, H. M. (1966): Master tables and curves for vertical electrical sounding over layered structures. Interciencia, Madrid, Spain.

RANDALL-ROBERTS, J. A. (1993): Geophysical prospecting for water in Precambrian gneiss, Oaxaca, Mexico. *In* Hidrogeology of hard rocks (Sheila and David Banks, eds.), I.A.H. Memoires, Volume XXIV, part 1, 648-654.

VILLUENDAS, E. (1987): Mediciones lineales de las resistividades aparentes y sondeos eléctricos simultáneos en la prospección de aguas subterráneas. Interpretación mediante el ábaco de curvas de dos capas. Ciencias Geográficas, 1987 (1), 18-46.

Original recibido: Enero 1996.
Original aceptado: Octubre 1996.

ANALISIS DE LOS DESPRENDIMIENTOS ROCOSOS QUE AFECTAN A LA CALA DE BANYALBUFAR (MALLORCA).

Por M. FERRER GIJON (*), J. M. LOPEZ GARCIA (*), R. M. MATEOS RUIZ (*),
R. MORALES GARCIA (*) y A. RODRIGUEZ PEREA (**)

R E S U M E N

El litoral de la Serra de Tramontana de la Isla de Mallorca está afectado por numerosos procesos de inestabilidad en las laderas y escarpes que forman la costa. La cala de Banyalbufar, con un acantilado rocoso de más de 50 m de altura, es un ejemplo notable de ello, sufriendo frecuentes desprendimientos como el ocurrido en Septiembre de 1993, el último de importancia, en el que se produjo la caída de una cuña rocosa de unos 80 metros cúbicos de volumen.

En este trabajo se analizan los procesos de inestabilidad que afectan a los taludes del acantilado, así como los factores condicionantes y desencadenantes que controlan los desprendimientos. A partir del conocimiento de los mecanismos de rotura y de la caracterización de estos diferentes factores, se realiza una estimación de la peligrosidad y riesgo en el acantilado, como medida preventiva frente a futuros desprendimientos.

La propuesta y diseño de medidas estabilizadoras queda fuera del ámbito de este trabajo, centrado en el análisis de los procesos naturales que sufre el acantilado.

Palabras clave: Estabilidad de taludes, Desprendimientos, Riesgos naturales, Mallorca.

A B S T R A C T

The "Serra Tramontana" Littoral in northern part of Mallorca Island (Spain), is frequently affected by slope and cliff instability processes. A good example of this phenomenon can be seen at the cove of Banyalbufar where the cliff, more than 50 m height, is affected by rockfalls which make this area to be considered as a hazard zone.

After the occurrence of some rockfalls affecting the cliff which forms this cove, the last one affecting a volume of 70-80 cubic meters in September 1993, a detailed study has been carried out analysing the instability processes and the different conditioning and triggering factors controlling the rockfalls. From the knowledge of the failure mechanisms and the characterization of these different factors, an estimation of the hazard degree in the cove has been accomplished, as a preventive measure for future rockfalls.

The suggestion and design of corrective measures for the stabilization of the slope is not included here, since this work has been focussed to the analysis of the natural processes affecting the cliff.

Key words: Slope stability, Rockfalls, Natural hazards, Mallorca.

INTRODUCCION

Los acantilados rocosos de la costa española están frecuentemente afectados por procesos de inestabilidad y desprendimientos de bloques que

pueden dar lugar a situaciones de riesgo, tanto para construcciones como para personas, por la ocupación a que se ven sometidas estas zonas.

Los intensos procesos erosivos marinos que afectan a las costas provocan la destrucción de los materiales blandos o fracturados, prevaleciendo los macizos rocosos duros y resistentes que soportan por más tiempo la acción del oleaje.

(*) Instituto Tecnológico Geominero de España.

(**) Universitat de les Illes Balears. Ctra. de Valldemossa, Km. 7,500. E-07071 Palma de Mallorca

La costa norte de la isla de Mallorca se caracteriza por la presencia de espectaculares acantilados rocosos en los materiales duros carbonatados que predominan hacia el oeste, y en materiales arcillo-arenosos y yesíferos que afloran hacia el sureste. Estos materiales menos resistentes a las acciones marinas, que en este litoral actúan con una fuerza considerable, sufren procesos de inestabilidad condicionados tanto por los agentes erosivos como por el carácter blando de las litologías presentes.

El presente trabajo analiza los procesos de inestabilidad que afectan al acantilado de la cala de Banyalbufar, representativo de los afloramientos de materiales turbidíticos margo-arenosos de la zona, donde sucesivamente se han venido produciendo desprendimientos rocosos de diversa consideración.

El último de ellos de importancia (unas 200 toneladas de roca, ITGE 1996), tuvo lugar en Septiembre de 1993 sin causar daños personales, aunque sepultando una de las tradicionales "alcobas" donde se guardan las barcas de los pescadores. Por testimonios de los habitantes del pueblo se tiene noticia de la ocurrencia de importantes desprendimientos en el pasado, destacando la caída repentina de un voluminoso saliente rocoso del acantilado que tuvo lugar hacia 1948-49 en el lugar de la cala conocido como "La ducha". Durante años, cuando la pesca era una actividad frecuente en la población, los propios pescadores llevaban a cabo un periódico saneo manual de los bloques más inestables, mitigando de esta forma los posibles riesgos que podían sufrir sus propias vidas y enseres.

En la actualidad, como consecuencia de los procesos erosivos y de degradación que afectan al talud, la caída de pequeños bloques y material suelto es continua, afectando prácticamente a todo el frente del acantilado.

LOCALIZACION GEOGRAFICA

Banyalbufar es una pequeña localidad costera de la Isla de Mallorca situada en las estribaciones más occidentales de la Serra de Tramontana (Figura 1). Tiene una población residente fija de

250 habitantes, llegando a triplicarse ésta durante los meses estivales. El sector servicios es la principal actividad de la población, ya que el pueblo es atravesado por la carretera C-710, principal ruta turística de la Serra Norte.

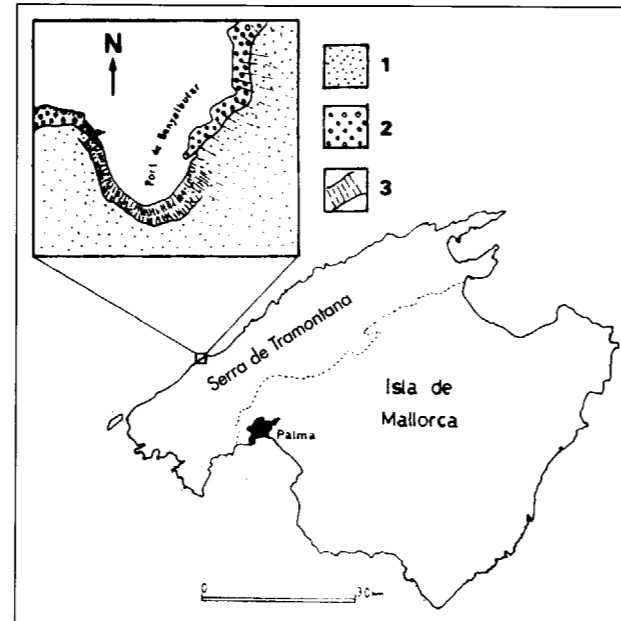


Figura 1.- Situación geográfica del área de estudio en el litoral septentrional de la Isla de Mallorca y esquema de la cala de Banyalbufar. 1: Unidad Turbidítica de Banyalbufar. 2: Unidad Calcarenítica de Sant Elm. 3: Acantilado de la cala.

El afán del hombre durante siglos por conseguir pequeñas zonas de cultivo en esta topografía accidentada, junto a una espectacular naturaleza, confiere a toda la ladera donde se asienta el pueblo un característico paisaje aterrazado, cuyos tradicionales muros de piedra seca (màrges) descienden paralelamente hasta los acantilados que forman la costa.

La pequeña cala de Banyalbufar es el único acceso directo al mar que tienen los habitantes del pueblo, al predominar en la zona las costas abruptas y escarpadas. Durante los meses estivales, con una fuerte presencia turística, los bañistas que acceden a la cala pueden superar el número de 300.

CARACTERIZACION GEOLOGICA

La población de Banyalbufar se asienta sobre una

ladera formada por un potente paquete de materiales de facies turbidíticas de edad Burdigaliense-Langhiense Inferior (GONZALEZ DONOSO y otros, 1982). Estas facies, conocidas como Formación Turbidítica de Banyalbufar (RODRIGUEZ PEREA, 1984), están constituidas por potentes niveles de margas con intercalaciones de niveles calcareníticos de espesor variable, desde centimétrico a métrico.

La serie completa en la cala de Banyalbufar (RODRIGUEZ PEREA, 1984) está formada por:

- Brechas dolomíticas que constituyen el basamento del Triásico Medio (Muschelkalk). Afloran en el extremo occidental de la cala de Banyalbufar.
- Biocalcarenitas y brechas miocenas. Depósitos tabulares de plataforma de la Unidad Calcarenítica de Sant Elm (nivel rocoso basal sobre el Muschelkalk). Afloran en los dos extremos de la cala, y morfológicamente constituyen los dos pequeños cabos que la delimitan.

- Margas con niveles de calcarenitas intercalados: Formación turbidítica de Banyalbufar. Materiales neógenos sinorogénicos que forman el talud del acantilado objeto de estudio y afectado por los procesos de desprendimiento (Figuras 2 y 3).

PROBLEMATICA GENERAL

El acantilado que forma la cala de Banyalbufar presenta una altura de más de 50 m sobre el nivel del mar en algunas zonas, con un talud vertical en los primeros 15 m basales y de unos 50° en el resto del talud hasta la cabecera, estando ocupada ésta por algunas construcciones y zonas de huerta al borde mismo del talud (Figura 3).

Los materiales turbidíticos que forman el acantilado presentan una estratificación subhorizontal y están afectados por dos familias de discontinuidades principales, lo que condiciona que los materiales más competentes, formados por los niveles calcareníticos, presenten una red de fracturación neta que favorece la creación de bloques

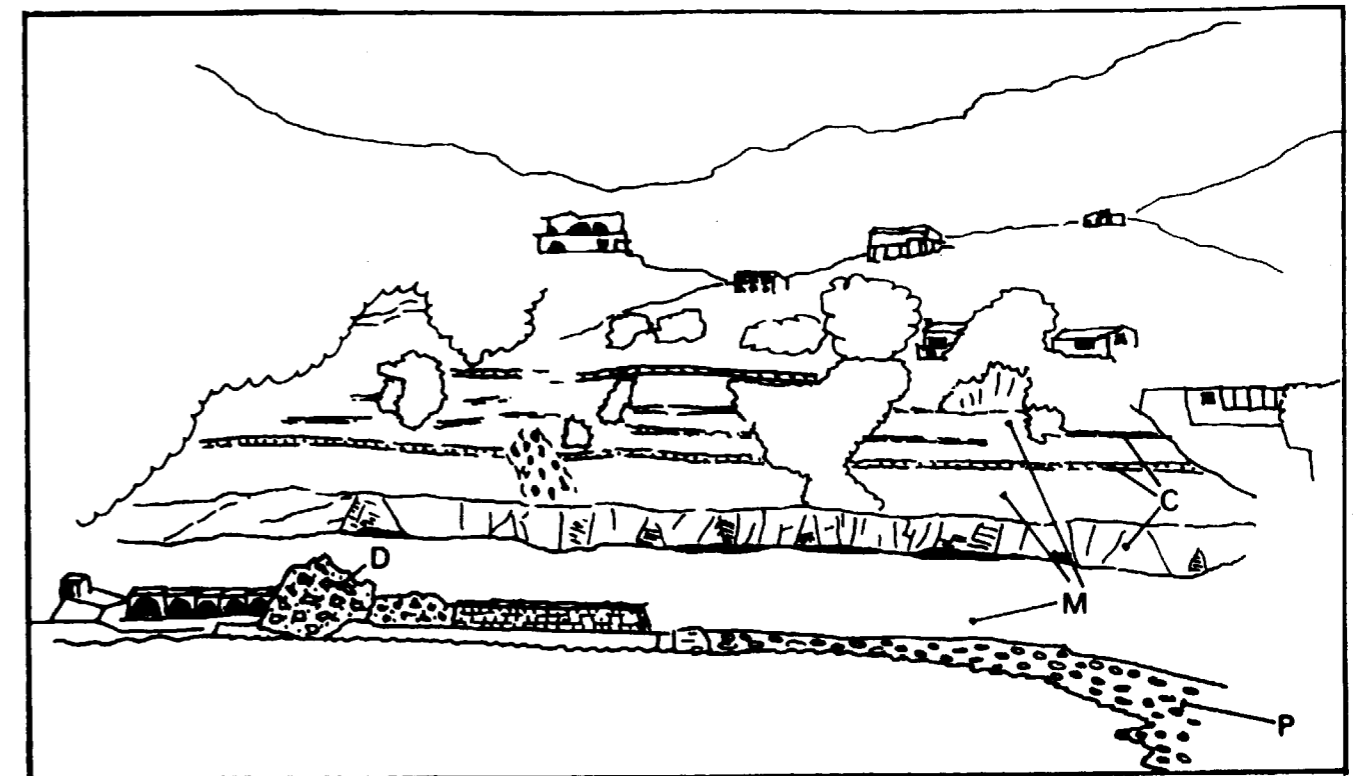


Figura 2.- Esquema del acantilado de la Cala de Banyalbufar, con la disposición de los niveles litológicos. M: niveles de margas; C: niveles calcareníticos (nótese la capa basal, de potencia considerable, origen de los principales desprendimientos); P: playa actual; D: desprendimientos recientes.



Figura 3.- Vista general de la Cala de Banyalbufar.

y cuñas. El descalce de estos niveles más competentes, por la erosión diferencial de los niveles margosos infrayacentes, provoca voladizos y desprendimientos de los bloques calcareníticos independizados, arrastrando a su vez los materiales que descansan sobre ellos y que no presentan suficiente consistencia para soportar su propio peso.

Como consecuencia, se pueden generar grandes cuñas rocosas en la pared del acantilado, que al caer se fragmentan en numerosos bloques de diversos tamaños y se depositan a su pie.

El fenómeno de descalce se produce sobre todo para el nivel calcarenítico más potente del acantilado (de 5 m de potencia), situado a unos 12 m de la base, donde claramente se observan numerosos diedros de roca de varios metros cúbicos de volumen con una evidente tendencia a la inestabilidad. Los desprendimientos más importantes y voluminosos afectan a este nivel.

Los procesos de inestabilidad están controlados por una serie de factores, que actúan a diferentes niveles, y que pueden quedar agrupados:

a) Características y propiedades de los materiales que forman el macizo rocoso

- Litología: propiedades de los materiales y disposición y potencia de los niveles litológicos (alternancia de niveles duros fracturados y niveles blandos más erosionables)

- Estructura: red de fracturación de los materiales

y orientación de las diaclasas, espaciado, tamaño de bloques, etc

- Parámetros resistentes y comportamiento geomecánico de las discontinuidades y de las distintas litologías presentes

- Comportamiento hidrogeológico de los materiales

b) Geometría: inclinación y altura del talud y orientación del mismo respecto a la red de fracturación y diaclasado.

c) Factores "externos" que actúan sobre el macizo rocoso: procesos naturales de erosión y meteorización que afectan a los materiales costeros. Estos procesos forman parte del ciclo de la evolución natural y retroceso de los acantilados, sobre todo tratándose de un talud muy verticalizado y en materiales blandos mayoritariamente.

FACTORES CONDICIONANTES DE LOS PROCESOS DE INESTABILIDAD

La confluencia de los factores anteriormente citados provoca una tendencia a la inestabilidad en los taludes de la cala, condicionando y desencadenando los procesos y definiendo las tipologías y los mecanismos de las roturas. Hay una serie de factores que se pueden considerar como factores "necesarios" para la inestabilidad (por ejemplo el relieve o morfología del acantilado), mientras otros pueden ser considerados como condicionantes del tipo de inestabilidad y de los mecanismos de rotura (por ejemplo la estructura geológica). Por último, se puede hablar de factores desencadenantes que actúan provocando las caídas en última instancia: en este grupo podría incluirse la acción erosiva del mar y las precipitaciones.

Geometría y orientación de la cala

La cala de Banyalbufar ofrece un acantilado abierto hacia el N, con una forma semielíptica y delimitada por dos pequeños cabos separados entre sí por una distancia aproximada de 150 m.

Adoptando como criterio la orientación del talud



Figura 3.- Vista general de la Cala de Banyalbufar.

y cuñas. El descalce de estos niveles más competentes, por la erosión diferencial de los niveles margosos infrayacentes, provoca voladizos y desprendimientos de los bloques calcareníticos independizados, arrastrando a su vez los materiales que descansan sobre ellos y que no presentan suficiente consistencia para soportar su propio peso.

Como consecuencia, se pueden generar grandes cuñas rocosas en la pared del acantilado, que al caer se fragmentan en numerosos bloques de diversos tamaños y se depositan a su pie.

El fenómeno de descalce se produce sobre todo para el nivel calcarenítico más potente del acantilado (de 5 m de potencia), situado a unos 12 m de la base, donde claramente se observan numerosos diedros de roca de varios metros cúbicos de volumen con una evidente tendencia a la inestabilidad. Los desprendimientos más importantes y voluminosos afectan a este nivel.

Los procesos de inestabilidad están controlados por una serie de factores, que actúan a diferentes niveles, y que pueden quedar agrupados:

a) Características y propiedades de los materiales que forman el macizo rocoso

- Litología: propiedades de los materiales y disposición y potencia de los niveles litológicos (alternancia de niveles duros fracturados y niveles blandos más erosionables)

- Estructura: red de fracturación de los materiales

y orientación de las diaclasas, espaciado, tamaño de bloques, etc

- Parámetros resistentes y comportamiento geomecánico de las discontinuidades y de las distintas litologías presentes

- Comportamiento hidrogeológico de los materiales

b) Geometría: inclinación y altura del talud y orientación del mismo respecto a la red de fracturación y diaclasado.

c) Factores "externos" que actúan sobre el macizo rocoso: procesos naturales de erosión y meteorización que afectan a los materiales costeros. Estos procesos forman parte del ciclo de la evolución natural y retroceso de los acantilados, sobre todo tratándose de un talud muy verticalizado y en materiales blandos mayoritariamente.

FACTORES CONDICIONANTES DE LOS PROCESOS DE INESTABILIDAD

La confluencia de los factores anteriormente citados provoca una tendencia a la inestabilidad en los taludes de la cala, condicionando y desencadenando los procesos y definiendo las tipologías y los mecanismos de las roturas. Hay una serie de factores que se pueden considerar como factores "necesarios" para la inestabilidad (por ejemplo el relieve o morfología del acantilado), mientras otros pueden ser considerados como condicionantes del tipo de inestabilidad y de los mecanismos de rotura (por ejemplo la estructura geológica). Por último, se puede hablar de factores desencadenantes que actúan provocando las caídas en última instancia: en este grupo podría incluirse la acción erosiva del mar y las precipitaciones.

Geometría y orientación de la cala

La cala de Banyalbufar ofrece un acantilado abierto hacia el N, con una forma semielíptica y delimitada por dos pequeños cabos separados entre sí por una distancia aproximada de 150 m.

Adoptando como criterio la orientación del talud

del acantilado, éste se puede dividir en tres zonas diferentes (Tabla I). Las relaciones entre la orientación e inclinación del talud y la disposición de las discontinuidades gobiernan la posibilidad cinemática de que se produzcan desprendimientos.

	DIRECCION TALUD	ALTURA
ZONA A	N 30-35° E Frente talud hacia NW	50-60 m
ZONA B	N 80-85° E Frente talud hacia N	35-40 m
ZONA C	N 160-165° E Frente talud hacia ENE N 80-85° E Frente talud hacia N	20 m

Tabla I.- Características geométricas del talud de las tres zonas establecidas en el acantilado.

Litología

La facies de la Formación Turbidítica de Banyalbufar se presenta en el acantilado como una clara alternancia de niveles margosos y calcareníticos (Figuras 2 y 3). Las margas, de color grisáceo, presentan una intensa laminación, constituyendo niveles muy deleznable y fácilmente erosionables. Las calcarenitas, de color pardo-amarillento, constituyen niveles más competentes con una clara estratificación subhorizontal.

De base a techo aparece la siguiente secuencia en la pared del acantilado:

- Paquete de margas finamente laminadas con pequeños niveles centimétricos de calcarenitas 10-12 m de potencia.

- Nivel de calcarenitas muy compactas, estratificadas y fracturadas, de 4-5 m de potencia.

- Paquete margoso de 6-7 m de potencia.

- Alternancia de margas (en paquetes métricos) y niveles de calcarenitas (de algunos decímetros

de potencia), con claro predominio margoso, 10-12 m de potencia.

- Nivel calcarenítico fracturado de 2-3 m de potencia.

- Paquete margoso superior, sobre el que discurre el camino que bordea la cala por la cabecera del acantilado, 10-12 m de potencia.

Estructura y familias de discontinuidades

La disposición subhorizontal de los materiales del acantilado ha permitido, aunque con gran dificultad y gracias a la ayuda de un cualificado alpinista, llevar a cabo la toma de datos y caracterización del estado de fracturación de los niveles rocosos del talud. En la Figura 4 se muestran las dos principales familias de discontinuidades que afectan a los niveles calcareníticos y a los niveles margosos, cuyas direcciones y buzamientos medios quedan reflejados en la Tabla II. Se trata de dos familias ortogonales entre sí que forman bloques de roca paralelepípedicos.

Los planos de fractura que afectan a las calcarenitas son poco rugosos y frecuentemente presentan recristalizaciones de calcita; en el caso de los niveles margosos las fracturas aparecen menos marcadas y con recristalizaciones de calcita más patentes.

	CALCARENITAS	MARGAS
Familia 1	72°E/74°N	93°E/44°N
Familia 2	167°E/80°W	162°E/72°W
Espaciado	1.5 - 3 m	2 m

Tabla II.- Características de las familias de discontinuidades. Orientación dada por su dirección y buzamiento.

En el potente nivel basal calcarenítico las discontinuidades son planos muy continuos con un espaciado de 1.5 a 3 m para ambas familias. La intersección de estas dos familias con los planos de estratificación subhorizontal genera bloques de hasta 45 m³ de volumen. En ocasiones las diaclasas no llegan a cortar a todo el paquete, pero

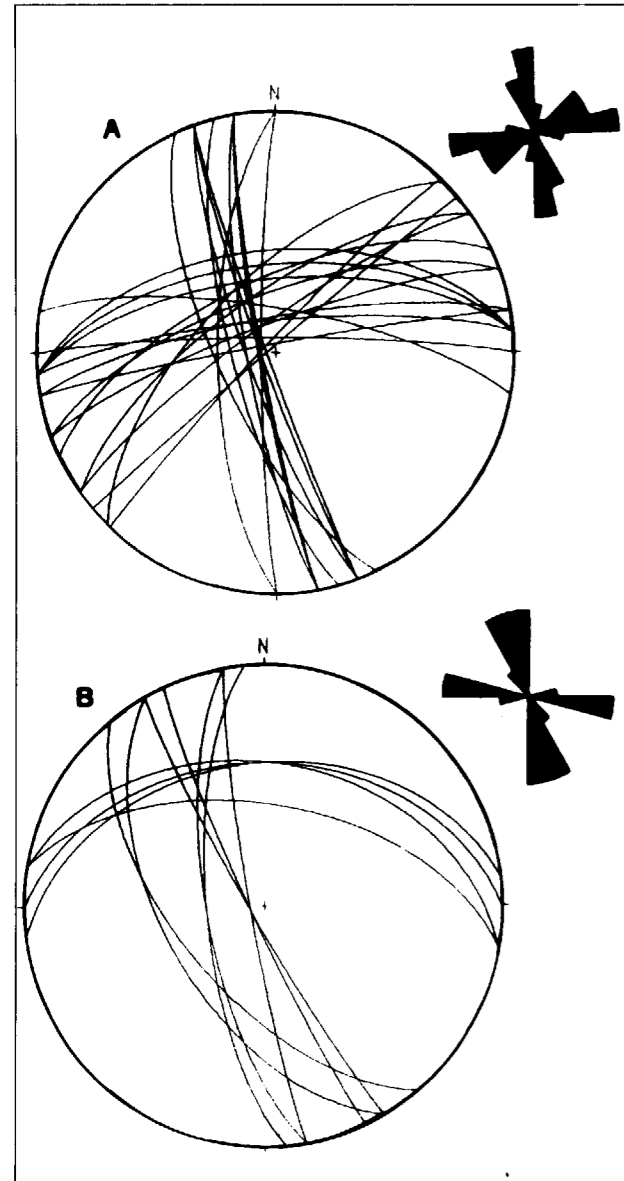


Figura 4.- Proyecciones estereográficas de los planos de diaclasas que afectan a los niveles calcareníticos (A) y margosos (B).

su intersección con los planos de estratificación (netos en todo el nivel calcarenítico) da lugar a numerosos bloques de roca de volúmenes mucho menos importantes que los anteriores.

Un aspecto importante en cuanto a la distribución y forma de los bloques, es el fenómeno de refracción que sufre la Familia 1 al pasar de los niveles calcareníticos a los materiales margosos (Fig. 4).

Características geomecánicas de los materiales

La posibilidad de deslizamiento y rotura a favor de planos de discontinuidad depende en última instancia de los parámetros resistentes de los mismos frente a los esfuerzos a que se ven sometidos.

Los dos tipos de materiales que forman el macizo rocoso del acantilado presentan comportamientos geomecánicos diferentes:

- Para los niveles margosos (rocas blandas fracturadas), se puede considerar que el papel de las discontinuidades en la resistencia y comportamiento del material queda relegado por el alto grado de delezabilidad de la matriz rocosa, que de hecho se presenta con un aspecto muy alterado y descascarillado en superficie. Se ha estimado para este material, por métodos indirectos, un ángulo de rozamiento interno aproximado de 28° (criterio de Barton y Chobey), y una resistencia a compresión simple de $0.6-1 \text{ kg/cm}^2$.

- Los niveles calcareníticos constituyen una roca dura y resistente, cuyo comportamiento geomecánico está estrechamente ligado a las dos familias de discontinuidades definidas. Siempre y cuando la inestabilidad sea cinemáticamente posible, las cuñas y bloques originados por la intersección de ambos planos de fractura tenderán al deslizamiento si se supera la resistencia al corte de dichas discontinuidades, cuyo ángulo de rozamiento interno se ha estimado en torno a los 36° .

Presencia de agua

La generación de presiones intersticiales asociadas a la presencia de agua en el talud se traduce en una pérdida de resistencia al corte de los materiales y de los planos de discontinuidad, contribuyendo a los procesos de inestabilidad.

El macizo rocoso que constituye el acantilado de la cala de Banyalbufar no presenta un nivel freático definido. El agua que lo afecta procede de las infiltraciones de lluvia y pequeños regadíos que hay en la parte superior.

Se detectan manchas de humedad en los contactos entre los niveles impermeables (margas) y los

niveles permeables que constituyen las calcarenitas, a favor de los que drena el macizo. Estas diferentes propiedades hidrogeológicas de los dos tipos de materiales tiene gran importancia en el comportamiento geomecánico del talud, al gobernar la generación y distribución de zonas sometidas a tensiones hidrostáticas.

Existe la salida natural de un pequeño torrente que forma una cascada en el acantilado, popularmente conocido como "la ducha", provocando en esta zona la saturación y reblandecimiento de los materiales margosos más inferiores. Esta zona fue la que sufrió un gran desprendimiento hacia 1948-49.

Por otro lado, las discontinuidades que afectan al macizo rocoso actúan como planos de drenaje del agua de infiltración, favoreciéndose así una mayor inestabilidad de las cuñas y bloques formados.

FACTORES DESENCADENANTES DE LOS DESPRENDIMIENTOS

Mientras que los factores anteriores determinan las zonas inestables y el tipo, mecanismo y modelo de las roturas, los factores "externos" al propio macizo rocoso son los responsables en última instancia del desencadenamiento de las inestabilidades, al modificar las condiciones de los materiales o la geometría de los taludes. En el caso de la zona de estudio, pueden considerarse como factores desencadenantes la erosión y las precipitaciones.

Procesos de erosión marina

El oleaje contribuye al modelado de los acantilados costeros actuando como un factor erosivo muy intenso, condicionando y desencadenando la aparición de inestabilidades.

La cala de Banyalbufar presenta una orientación hacia el Norte, quedando expuesta a las principales direcciones del oleaje, que en esta zona muestran su máxima frecuencia en los trenes de olas provenientes del N y NO. Estas direcciones corresponden a las mayores tormentas, gene-

rando olas que pueden superar los seis metros (según la Demarcación de Costas en Baleares).

Durante los períodos de fuertes tempestades (meses invernales y otoñales), el oleaje incide directamente en el pie del talud erosionando los niveles margosos inferiores que, debido a su carácter blando, ofrecen poca resistencia. Este proceso da lugar al descalce del nivel calcarenítico inmediatamente superior, desencadenándose los desprendimientos cuando las cuñas y bloques preformados en este nivel competente quedan sin el debido sostenimiento y se supera la resistencia al corte de las discontinuidades que definen los bloques.

La presencia al pie del acantilado de numerosos fragmentos rocosos y bloques desprendidos en la evolución continua del talud, permiten al oleaje acarrear estos materiales, que son lanzados de nuevo contra el talud produciendo una mayor erosión y tendencia al desequilibrio. Por otro lado, el oleaje produce vibraciones que pueden suponer un factor condicionante de la estabilidad al afectar a las discontinuidades presentes en los taludes.

El resultado de estos procesos naturales es un retroceso generalizado del acantilado por la acción directa del oleaje. De hecho la cala de Banyalbufar ha sido formada entre dos pequeños cabos de materiales más duros y resistentes, que soportan mejor la acción del oleaje.

Precipitaciones

La infiltración del agua de lluvia en el talud rocoso contribuye de forma considerable a la desestabilización del mismo. Por un lado reblandece y contribuye a la pérdida de la resistencia de los materiales margosos y por otro, reduce la resistencia al corte de los planos que independizan los bloques rocosos en los niveles calcareníticos.

La influencia de la lluvia en los procesos de inestabilidad parece corroborada en el último desprendimiento importante que tuvo lugar en septiembre de 1993, tras dos intensos días de lluvia donde se recogieron más de 145 l/m^2 y después de un verano sin precipitaciones.

Siempre y cuando se den las condiciones previas de bloques independizados y con voladizos importantes en los niveles rocosos calcareníticos, el reblandecimiento y pérdida de resistencia de los materiales margosos basales, a favor de cuyo contacto drena el agua interior del talud, y la pérdida de resistencia en las discontinuidades a favor de las que circula el agua, son fenómenos que pueden inducir desprendimientos asociados a lluvias intensas o continuadas.

ANALISIS DE LA ESTABILIDAD

Del conjunto de factores que condicionan la estabilidad del acantilado, cabe destacar la orientación relativa entre las familias de discontinuidades y la dirección e inclinación del talud. Estas relaciones controlan la posibilidad de que los bloques puedan desprenderse así como el volumen, forma y mecanismo de la rotura.

Como ha quedado de manifiesto, los desprendimientos están fundamentalmente asociados a niveles duros calcareníticos, que controlan la estabilidad general del frente del talud: cuando son descalzados por la erosión de las margas o por el reblandecimiento por presencia de agua, sufren desprendimientos que arrastran a los materiales suprayacentes.

Se ha llevado a cabo el análisis de estabilidad para cada una de las tres zonas definidas en el acantilado (Tabla I) y considerando las direcciones de las dos principales familias de discontinuidades que afectan a los niveles calcareníticos.

Zona A

Comprende la parte oriental de la cala, a cuyo pie se han construido una rampa para las barcas, alcobas y una plataforma de hormigón por encima del nivel del mar (construida hacia 1973-74 y utilizada como solarium). Al fondo de la plataforma, contra el talud rocoso, existe un muro de piedra construido con el objeto de formar una cuneta para recogida del material desprendido del talud (Figuras 5 y 7; en la Figura 3, la Zona A corresponde a la parte central, que aparece sin vegetación, sobre las alcobas y el solarium).



Figura 5.- Vista de la Zona A de la Cala de Banyalbufar. Se observa el potente nivel calcarenítico de más de 5 metros, sobre el tramo basal margoso, con los planos netos de discontinuidad que lo afectan.

La representación estereográfica del plano del talud y las discontinuidades que afectan a los niveles calcareníticos más potentes (Figura 6a) muestra la disposición de las posibles roturas por cuñas formadas por las dos familias de discontinuidades. El talud es vertical para los metros basales del acantilado, donde se encuentra el nivel potente de calcarenitas.

La dirección de deslizamiento de las cuñas, tipología de rotura que aparece en esta zona por la orientación del talud, corresponde a la intersección de los planos de diaclasas, y ha sido marcada con flechas sobre la Figura 6a. Para que se produzca el deslizamiento, esta línea ha de tener menor inclinación que el talud y su mismo sentido; de esta manera, el área punteada en la figura delimita la zona favorable para el deslizamiento de las cuñas.

El resultado del análisis indica la formación de cuñas favorables al deslizamiento en los materiales calcareníticos con direcciones hacia el N, NO, y O, y con ángulos de deslizamiento entre 50° y 80° aproximadamente. El espaciado de los planos de rotura (1,5 a 3 m) que forman las cuñas y su continuación en los paquetes margosos superiores que forman la parte superior del talud, hace que puedan formar grandes bloques o cuñas con posibilidad de deslizar.

El que se produzca o no la caída de los bloques

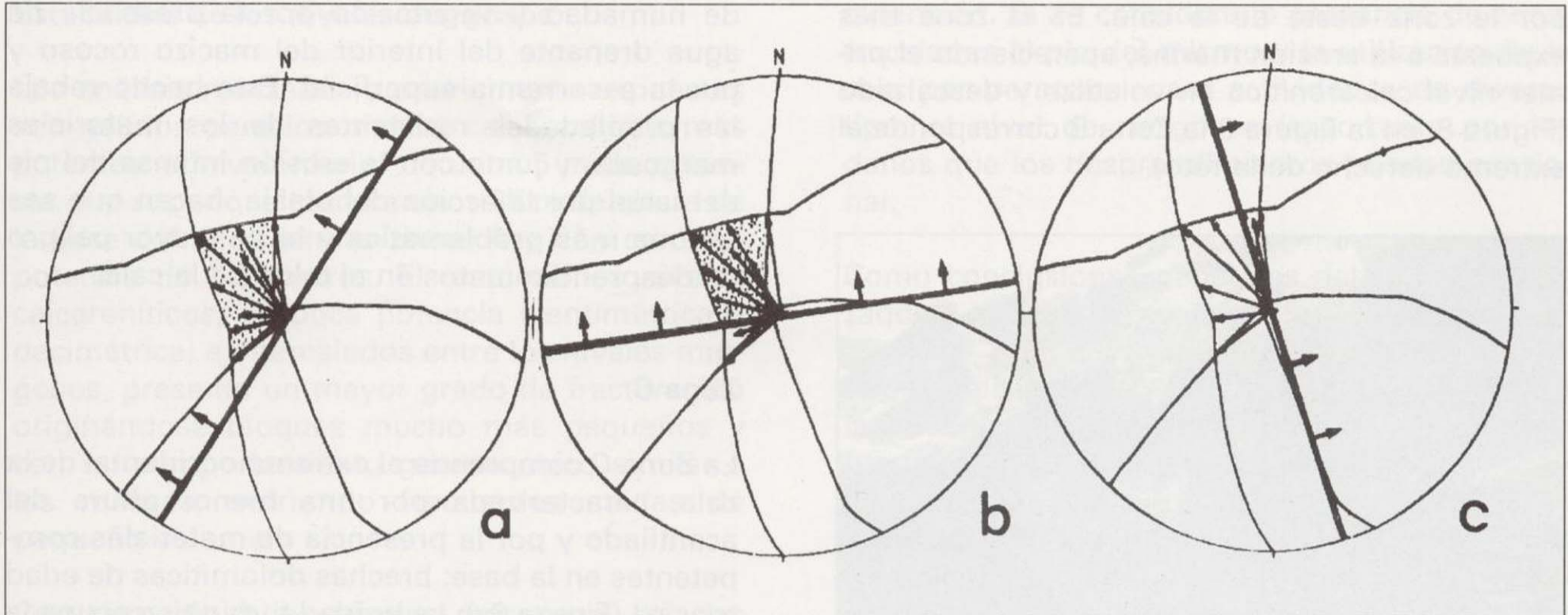


Figura 6.- Proyección de las cuñas y bloques cinemáticamente posibles (zona punteada) para los niveles calcareníticos de las tres zonas consideradas en el acantilado en función de la orientación del frente del talud. Aparecen representadas las familias de discontinuidades con sus medidas extremas y la orientación del frente de talud. a) Zona A con talud 30°-35°E; b) Zona B con talud 80°-85°E; c) Zona C con talud 160°-165°E.

depende de que la línea de intersección de la cuña tenga salida en la cara del talud y de la resistencia de los planos que forman la cuña (fuerzas cohesivas y friccionales). El primer condicionante se da por la erosión y socavamiento del nivel blando margoso infrayacente, al dejar en voladizo los bloques duros, mientras que la resistencia de los planos o bien no es suficiente para soportar el propio peso de los bloques (en el caso de discontinuidades abiertas sin relleno), o bien queda reducida por la presencia de agua en los planos.

Este mecanismo de inestabilidad, provocado por intensas lluvias en la zona, dió lugar al desprendimiento del gran bloque rocoso en forma de cuña en Septiembre de 1993 (Figura 7) con un volumen total de unos 80 m³ y bloques de areniscas de hasta 8 m³, cayendo sobre la plataforma de hormigón y sepultando una de las alcobas.

Actualmente, el nivel inferior de calcarenitas presenta grandes bloques en voladizo, descalzados por la erosión de los niveles margosos basales. El equilibrio entre las zonas del bloque que quedan sin sustento y la resistencia de los planos que conforman los bloques determina el que se produzcan o no las caídas, por lo que cualquier alte-

ración en uno de los dos anteriores factores puede provocar el desprendimiento.

Zona B

Comprende la parte central del acantilado, desde el límite de la plataforma de hormigón hasta el punto donde finaliza la escalera de acceso al mar

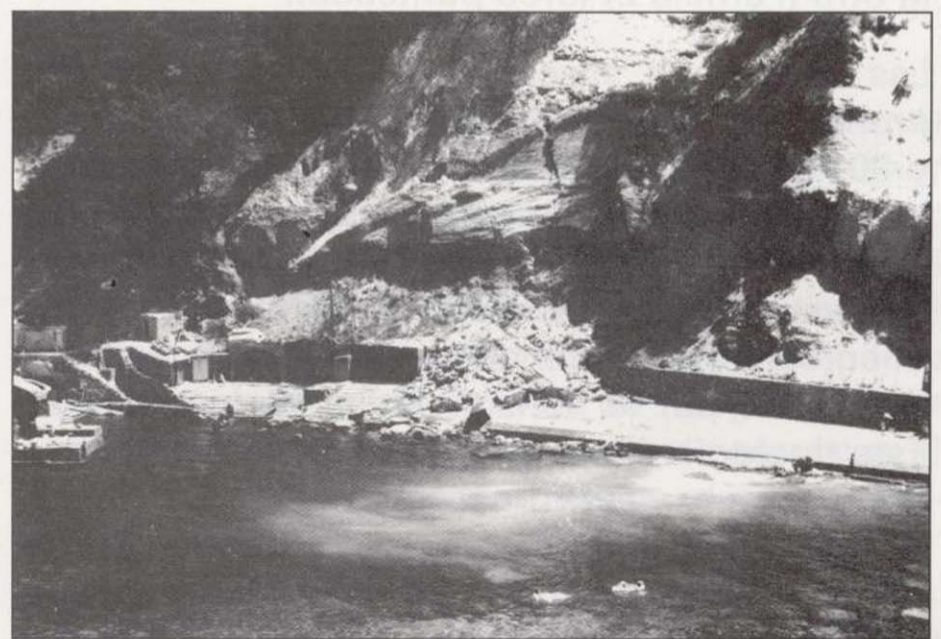


Figura 7.- Zona A. Cuña rocosa, afectando a las calcarenitas y a las margas, desprendida en Septiembre de 1993. El material caído (unas 200 toneladas) sepultó una de las alcobas de pescadores e invadió parte de la plataforma de hormigón empleada como solarium por los bañistas. Se observa claramente uno de los planos de cuña.

por la zona oeste de la cala. Es la zona más expuesta a la erosión marina, apareciendo el primer nivel calcarenítico en voladizo y descalzado (Figura 8; en la Figura 3 la Zona B corresponde al extremo derecho de la foto).



Figura 8.- Vista del talud de la Zona B de la cala, donde se observan los grandes bloques fracturados en el nivel calcarenítico y los voladizos a favor de los planos de estratificación.

La representación estereográfica de las familias de discontinuidades y de la orientación del talud vertical (Figura 6b) muestra la formación de cuñas y bloques paralelepípedicos con posibilidad de deslizarse debido a la orientación subparalela del talud con respecto a una de las familias de discontinuidades (Familia 1) y perpendicular a la otra (Familia 2) (area punteada).

Las cuñas son susceptibles de deslizarse y desprenderse hacia el NO a favor de líneas entre 50 y 80° de inclinación, mientras los bloques paralelepípedicos pueden sufrir desplomes por socavación o pérdida de resistencia de los materiales infrayacentes, al quedar sin sustento. El deslizamiento a favor de los planos de estratificación no es posible por la horizontalidad de los mismos. Esta tipología de rotura corresponde al gran desprendimiento ocurrido en la zona de "La ducha" hacia el año 1948-49.

Los bloques con inclinación hacia el O a priori no son favorables al deslizamiento, aunque también podrían desprenderse por el descalce inducido por la erosión de los niveles margosos inferiores.

En la Zona B el talud presenta grandes manchas

de humedad y vegetación por la presencia de agua drenante del interior del macizo rocoso y por la escorrentía superficial. Este hecho rebaja las propiedades resistentes de los materiales margosos, y junto con la erosión intensa del pie del talud por la acción del oleaje, hacen que sea la zona más problemática y la de mayor peligro de desprendimientos en el talud de la cala.

Zona C

La Zona C comprende el extremo occidental de la cala, caracterizada por una menor altura del acantilado y por la presencia de materiales competentes en la base: brechas dolomíticas de edad triásica (Figura 6c). La unidad turbidítica ocupa la mitad superior del talud.



Figura 9.- Vista general de la Zona C de la cala de Banyalbufar, con los afloramientos triásicos en la base y los materiales turbidíticos en el extremo superior izquierdo.

El talud no supera los 20 m de altura y es vertical en algunas zonas. Los bloques que pueden formarse (Figura 6c) no tienen posibilidad de deslizarse ya que la componente final del movimiento es contraria a la inclinación del talud o subparalela al mismo. Descartado este mecanismo, podrían producirse desprendimientos si el descalce progresa lo suficiente, fenómeno también dificultado por la presencia de una litología basal (brechas dolomíticas) más resistente a la erosión. La Zona C es la más segura de la cala, presentando una peligrosidad por desprendimientos rocosos muy inferior a la de las otras zonas.

por la zona oeste de la cala. Es la zona más expuesta a la erosión marina, apareciendo el primer nivel calcarenítico en voladizo y descalzado (Figura 8; en la Figura 3 la Zona B corresponde al extremo derecho de la foto).

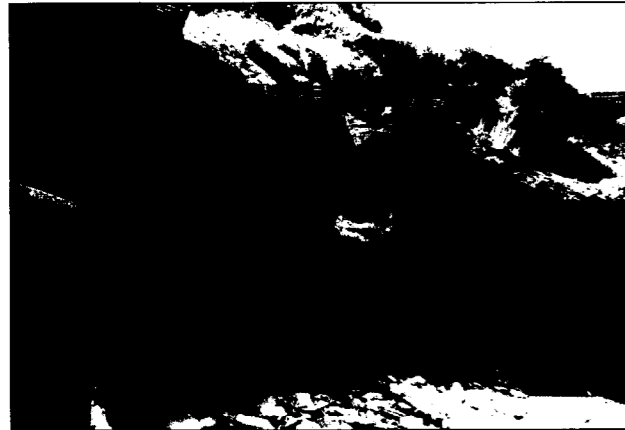


Figura 8.- Vista del talud de la Zona B de la cala, donde se observan los grandes bloques fracturados en el nivel calcarenítico y los voladizos a favor de los planos de estratificación.

La representación estereográfica de las familias de discontinuidades y de la orientación del talud vertical (Figura 6b) muestra la formación de cuñas y bloques paralelepípedicos con posibilidad de deslizar debido a la orientación subparalela del talud con respecto a una de las familias de discontinuidades (Familia 1) y perpendicular a la otra (Familia 2) (area punteada).

Las cuñas son susceptibles de deslizar y desprenderse hacia el NO a favor de líneas entre 50 y 80° de inclinación, mientras los bloques paralelepípedicos pueden sufrir desplomes por socavación o pérdida de resistencia de los materiales infrayacentes, al quedar sin sustento. El deslizamiento a favor de los planos de estratificación no es posible por la horizontalidad de los mismos. Esta tipología de rotura corresponde al gran desprendimiento ocurrido en la zona de "La ducha" hacia el año 1948-49.

Los bloques con inclinación hacia el O a priori no son favorables al deslizamiento, aunque también podrían desprenderse por el descalce inducido por la erosión de los niveles margosos inferiores.

En la Zona B el talud presenta grandes manchas

de humedad y vegetación por la presencia de agua drenante del interior del macizo rocoso y por la escorrentía superficial. Este hecho rebaja las propiedades resistentes de los materiales margosos, y junto con la erosión intensa del pie del talud por la acción del oleaje, hacen que sea la zona más problemática y la de mayor peligro de desprendimientos en el talud de la cala.

Zona C

La Zona C comprende el extremo occidental de la cala, caracterizada por una menor altura del acantilado y por la presencia de materiales competentes en la base: brechas dolomíticas de edad triásica (Figura 6c). La unidad turbidítica ocupa la mitad superior del talud.



Figura 9.- Vista general de la Zona C de la cala de Banyalbufar, con los afloramientos triásicos en la base y los materiales turbidíticos en el extremo superior izquierdo.

El talud no supera los 20 m de altura y es vertical en algunas zonas. Los bloques que pueden formarse (Figura 6c) no tienen posibilidad de deslizar ya que la componente final del movimiento es contraria a la inclinación del talud o subparalela al mismo. Descartado este mecanismo, podrían producirse desprendimientos si el descalce progresa lo suficiente, fenómeno también dificultado por la presencia de una litología basal (brechas dolomíticas) más resistente a la erosión. La Zona C es la más segura de la cala, presentando una peligrosidad por desprendimientos rocosos muy inferior a la de las otras zonas.

Estabilidad de los niveles margosos

Los análisis realizados y previamente expuestos son válidos para los niveles calcareníticos más potentes: el nivel inferior de unos 5 m de potencia, y el superior situado a unos 35 m de altura de la base del talud (en las zonas A y B) y con una potencia de 2-3 metros. El resto de los niveles calcareníticos, de poca potencia (centimétrica a decimétrica) e intercalados entre los niveles margosos, presenta un mayor grado de fracturación originándose bloques mucho más pequeños y con un comportamiento geomecánico similar a las margas, sufriendo frecuentes caídas de pequeño volumen.

Con respecto a los niveles margosos, las dos principales familias de discontinuidades generan las mismas tipologías de rotura que para las calcarenitas, pero debido a la variación en la orientación de los planos de rotura (los buzamientos de las familias se presentan más tendidos) y a la inclinación de los taludes en las zonas altas del acantilado (50°-60°), existen menos posibilidades de que las cuñas puedan desprenderse al ser las líneas de intersección más tendidas.

Además, el comportamiento geomecánico de estos materiales blandos y su elevado grado de meteorización, hacen que el conjunto no se comporte como un macizo rocoso fracturado con bloques rígidos, presentando un comportamiento más dúctil.

CONCLUSIONES

El macizo rocoso que forma el acantilado de la cala de Banyalbufar está afectado por procesos de inestabilidad condicionados en primer lugar por las litologías presentes. La alternancia de niveles de distinta competencia y resistencia hace que se produzcan comportamientos diferenciales en cuanto a los procesos erosivos actuantes y en cuanto a su respuesta geomecánica en la tendencia al equilibrio del talud. Como resultado se producen desprendimientos de bloques y cuñas rocosas y la caída continua de material superficial.

El acantilado presenta un grado de peligrosidad que puede considerarse elevado en casi toda su

extensión. Si se considera la presencia de construcciones al pie del mismo y la utilización de la cala por personas, para actividades de diverso tipo, el nivel de riesgo es importante por los daños que los desprendimientos pueden ocasionar.

Como conclusiones generales del análisis realizado se pueden puntualizar:

- Los análisis de estabilidad realizados muestran la presencia de grandes bloques y cuñas rocosas, fundamentalmente en el nivel calcarenítico inferior, que pueden sufrir procesos de desprendimiento, afectando a volúmenes de roca cuyo peso puede superar las cien toneladas, ya que la caída de los mismos arrastraría a su vez a los niveles superiores.

- El mecanismo que da lugar a los desprendimientos es el descalce de los niveles calcareníticos competentes por la erosión de los niveles más blandos infrayacentes por acción del mar y el oleaje.

- La presencia de agua en los materiales de talud, tanto procedente de la lluvia como del torrente que da lugar a "La ducha", contribuyen a la pérdida de resistencia de los materiales y de los planos de discontinuidad y al reblandecimiento de los niveles margosos. Las lluvias intensas o continuadas, como las asociadas al desprendimiento de 1993, pueden ser un factor desencadenante de nuevos desprendimientos.

De las tres zonas en las que se ha dividido el talud para su análisis, la zona C es la de menor peligrosidad, al no aparecer los niveles margosos blandos infrayacentes al nivel calcarenítico basal (en su lugar aparecen las brechas dolomíticas del Triásico), ni los niveles blandos superiores por la poca altura del talud. El nivel de riesgo también es bajo, al ser menor la presencia de personas al pie del acantilado (el desarrollo de playa es prácticamente nulo).

La zona A, la más oriental, presenta un grado de peligrosidad y riesgo elevados; es posible el desprendimiento de grandes cuñas de roca que pueden producir pérdidas materiales importantes (destrucción de casetas de pescadores) y afectar a las personas que se encuentren en la cala.

La zona de mayor grado de peligrosidad y riesgo corresponde a la Zona B. Los factores que determinan este elevado grado son:

- Presencia de importantes descalces y voladizos en el nivel calcarenítico inferior, los más acentuados de todo el talud.

- Formación de cuñas y bloques que son favorables al deslizamiento.

- Orientación del talud al Norte, zona de la que proceden los mayores temporales que afectan a la costa, y una total desprotección frente al oleaje al no existir ninguna barrera artificial o natural.

- Baja resistencia de los materiales margosos inferiores, al existir una continua presencia de agua que afecta a toda esta franja del talud.

- Máxima concentración de bañistas bajo las zonas descalzadas, al ser este área la de más fácil acceso al mar.

Si bien el riesgo puede considerarse elevado en toda la cala de Banyalbufar, éste es máximo en la Zona B durante los meses de verano (cuando se produce la máxima afluencia de turistas). En los meses de invierno, el mayor riesgo se desplaza a la Zona A, más frecuentada por los pescadores.

En cuanto a la peligrosidad, ésta alcanza su valor más elevado durante los meses de otoño e invierno cuando las precipitaciones y los temporales se desarrollan con más frecuencia y fuerza en la zona.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo desean expresar su grati-

tud a la Associació d'Amics per Banyalbufar, que tomaron la iniciativa de este Estudio, a Joaquín Ginés Gracia que valientemente se descolgó por el acantilado para medir las discontinuidades, y muy especialmente al Sr. Alcalde de Banyalbufar D. Antoni Mora, que ha prestado una continua ayuda para la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

COROMINAS, J. (1989): Clasificación y Reconocimiento de los Movimientos de Ladera. Monografía S.E.G., nº 3, Pp 1-30. Zaragoza.

FORNOS, J., MARZO, M., POMAR, L., RAMOS-GUERRERO, E. y RODRIGUEZ PEREA, A. (1991): Evolución Tectono-Sedimentaria y Análisis Estratigráfico del Terciario de la Isla de Mallorca. I Congreso del Grupo Español del Terciario, Vic. Guía de Campo, Excursión nº 2, Ed. F. Colombo. Pp 85-90.

I.T.G.E. (1991): Hoja Magna 1:50.000 nº 670, Sóller.

I.T.G.E. (1991): Manual de Ingeniería de Taludes. Serie de Ingeniería Geoambiental. Madrid. Pp 9-39, 409-424.

i.T.G.E. (1996): Estudio de los desprendimientos rocosos que afectan a la Cala de Banyalbufar. Informe inédito.

MATEOS, R.M. Y FERRER, M. (1994): Methodology for landslides hazard map 1:10.000 in the area of Monachil (Granada, Spain). Proceedings 7Th International IAEG Congress. Lisboa. Vol III, Pp 2059-2064.

M.O.P.U. (1980): Plan Indicativo de Usos del Dominio Público Litoral. Tramo de Costa: Arco Norte de Mallorca.

RODRIGUEZ PEREA, A. y POMAR, L. (1983): El Neógeno Inferior de Mallorca: Port De's Canonge - Banyalbufar. X Congreso Nal. de Sedimentología, Menorca. Guía de excursiones: El territorio de las Baleares. Pp 91-113.

Original recibido: Octubre 1996.
Original aceptado: Diciembre 1996.

ROCAS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES

EXPLOTACIONES DE MINERALES Y ROCAS INDUSTRIALES EN LOS MATERIALES NEOGENOS DE LA ZONA OCCIDENTAL DE LA PROVINCIA DE CADIZ

Por J. P. MORAL CARDONA (*), J. M. GUTIERREZ MAS (*), A. J. GARCIA GUERRERO (**), A. SANCHEZ BELLON (*) J. J. MUÑOZ PEREZ (***) y M. A. CABALLERO (*)

R E S U M E N

Se han analizado los principales minerales y rocas industriales del Neógeno de la zona occidental de la provincia de Cádiz, (arenas silíceas, arcillas industriales y especiales, areniscas y arenas y gravas). En dicho análisis se ha tratado la geología de los yacimientos, métodos de extracción, tipos de tratamiento y problemática ambiental. También se ha hecho una valoración de la situación actual y de las perspectivas futuras de cada materia prima en función de su producción, usos y aplicaciones, así como del mercado al que van dirigidas.

Palabras clave: Minerales y rocas industriales, Arenas silíceas, Arcillas industriales, Sepiolita-palygorskita, Areniscas, Arenas y gravas, Impacto ambiental, Neógeno, Cádiz.

A B S T R A C T

The main Neogene industrial minerals and rocks in the western Cádiz province (silica sands, industrial and special clays, sandstones, sands and gravels) have been analyzed. This analysis includes the geology of the outcrops, the extractive methods, the type of treatments and the environmental aspects. The current situation and future perspectives of each raw material has been evaluated according to its production, uses, applications and marketing.

Key words: Industrial minerals and rocks, Silica sands, Industrial clays, Sepiolite-palygorskite, Sandstones, Gravels and sands, Environmental study, Neogene, Cádiz.

INTRODUCCION

El interés por la extracción de minerales y rocas industriales a gran escala, en la provincia de Cádiz, es muy reciente, comienza a partir de los años cincuenta, y se acentúa en la década de los sesenta como consecuencia del inicio del desa-

rollo económico de la zona. Con anterioridad a esta fecha las explotaciones eran de carácter local, se limitaban a zonas de reducidos afloramientos superficiales, de laboreo fácil, y sobre todo económico.

Un hecho a tener en cuenta en la explotación de las rocas y minerales industriales es la elevada incidencia del coste del transporte en el precio del producto, ya que llega a representar hasta el 30 % del precio final. Debido a esto, el comercio es fundamentalmente intraprovincial.

En este sector se extraen diferentes minerales y rocas industriales: arenas silíceas, arenas y gra-

(*) Dpto. de Cristalografía y Mineralogía, Estratigrafía, Geodinámica y Petrología y Geoquímica. Apto. 40 Facultad de Ciencias. Univ. de Cádiz. 11510 Puerto Real, Cádiz.

(**) Dpto. de Minas de la Delegación Provincial de Trabajo e Industria de Cádiz. Plaza de España 19. 11071 Cádiz.

(***) Dpto. de Física Aplicada. Apto. 40 Facultad de Ciencias del Mar. Univ. de Cádiz. 11510 Puerto Real, Cádiz.

vas, areniscas, arcillas industriales y arcillas especiales, que constituyen materias primas de diferentes industrias como son: cerámica, vidrio, construcción, agricultura y química.

En conjunto suponen el 20% en tonelaje de la producción andaluza de minerales y rocas industriales, cuyo valor total alcanza los 3.077 millones de pesetas. En la zona estudiada las explotaciones de materias primas para la construcción son las más numerosas y las de mayor volumen de producción (cerca del 75%, que representa un 45% del valor total que es de casi 588 millones de pesetas). Igualmente son las que suministran más puestos de trabajo bien directamente o en las plantas de hormigón, cemento, tierras cocidas, etc., existentes en su proximidad. Por el contrario, el producto con mayor valor unitario son las arcillas especiales, en concreto la paligorskita, utilizadas en la industria química, que con una producción de sólo el 1,8%, representan el 20% del valor total.

Las explotaciones consisten en métodos de minería de superficie, distinguiéndose, principalmente, dos tipos: graveras para las arenas y gravas, y canteras para el resto de las materias primas.

El procesamiento que sufren los diferentes minerales y rocas industriales de la zona es relativamente simple y en los casos más complejos el producto extraído se tritura, muele y clasifica, si no al mismo pie de la explotación, en instalaciones próximas que utilizan conjuntamente las distintas explotaciones de la zona.

MARCO GEOLOGICO Y PRINCIPALES ZONAS EXTRACTIVAS

En la provincia de Cádiz, se diferencian tres zonas o regiones naturales: Sierra, Campiña y Litoral. La primera se corresponde geológicamente con las estribaciones más occidentales de la Cordillera Bética (Fig. 1). La campiña y el Litoral NE se incluyen en la Depresión del Guadalquivir, los materiales que afloran en ella son principalmente postorogénicos, aunque también están presentes materiales sinorogénicos y preorogénicos (GUTIERREZ MAS et al., 1991). Dentro de estos últimos cabe destacar el Trías subbético en

facies germano andaluza (arcillas y margas con yesos), que presenta una notable extensión, y algunos afloramientos aislados de calizas y dolomías subbéticas. Igualmente se encuentran las moronitas o albarizas, margas blancas con diatomeas, que contienen además foraminíferos, radiolarios y otros organismos, correspondientes a un ambiente pelágico y alejado de la costa. Se les atribuye edad Mioceno, distinguiéndose dos tipos: unas más antiguas depositadas simultáneamente al desplazamiento de los mantos subbéticos y otras más modernas que son postorogénicas.

Los materiales del Mioceno superior son los primeros depósitos postorogénicos que rellenaron las áreas sumergidas después del plegamiento de la Cordillera. Son sedimentos marinos que reposan transgresivamente sobre los materiales preorogénicos. Presentan dos tipos de facies: margas azules y calcarenitas bioclásticas. Estas últimas por su mayor resistencia a la erosión, son las responsables de relieves tales como el Tajo de Arcos, la Sierra del Calvario en Bornos, la Sierra de San Cristóbal en El Puerto de Santa María y la zona de Vejer. El Plioceno está constituido por materiales depositados en medios diversos, de marinos litorales hasta continentales. Las facies marinas afloran en una estrecha franja litoral entre Chipiona y Conil, estando especialmente desarrolladas en la Bahía de Cádiz; una de sus litologías más características es la "Piedra Ostionera", conglomerado con numerosos restos de conchas. En la región de Jerez (BENKHELIL, 1976), el Plioceno presenta facies de medios mixtos culminando con episodios continentales lacustres, mientras que en la zona Arcos de la Frontera muestra un predominio de facies continentales: fluviales y eólicas.

El primer depósito cuaternario de la zona son las arenas rojas (Zazo, 1980), otras formaciones de esta edad son los glaciares, las terrazas fluviales y las terrazas marinas. Las terrazas fluviales están particularmente desarrolladas en la cuenca del Río Guadalete (Mabesoone, 1963).

Las diferentes explotaciones de rocas y minerales industriales en los materiales neógenos de la región estudiada se pueden agrupar en base a su contexto geológico en 4 zonas extractivas: I: Arcos de la Frontera - San José del Valle, consti-

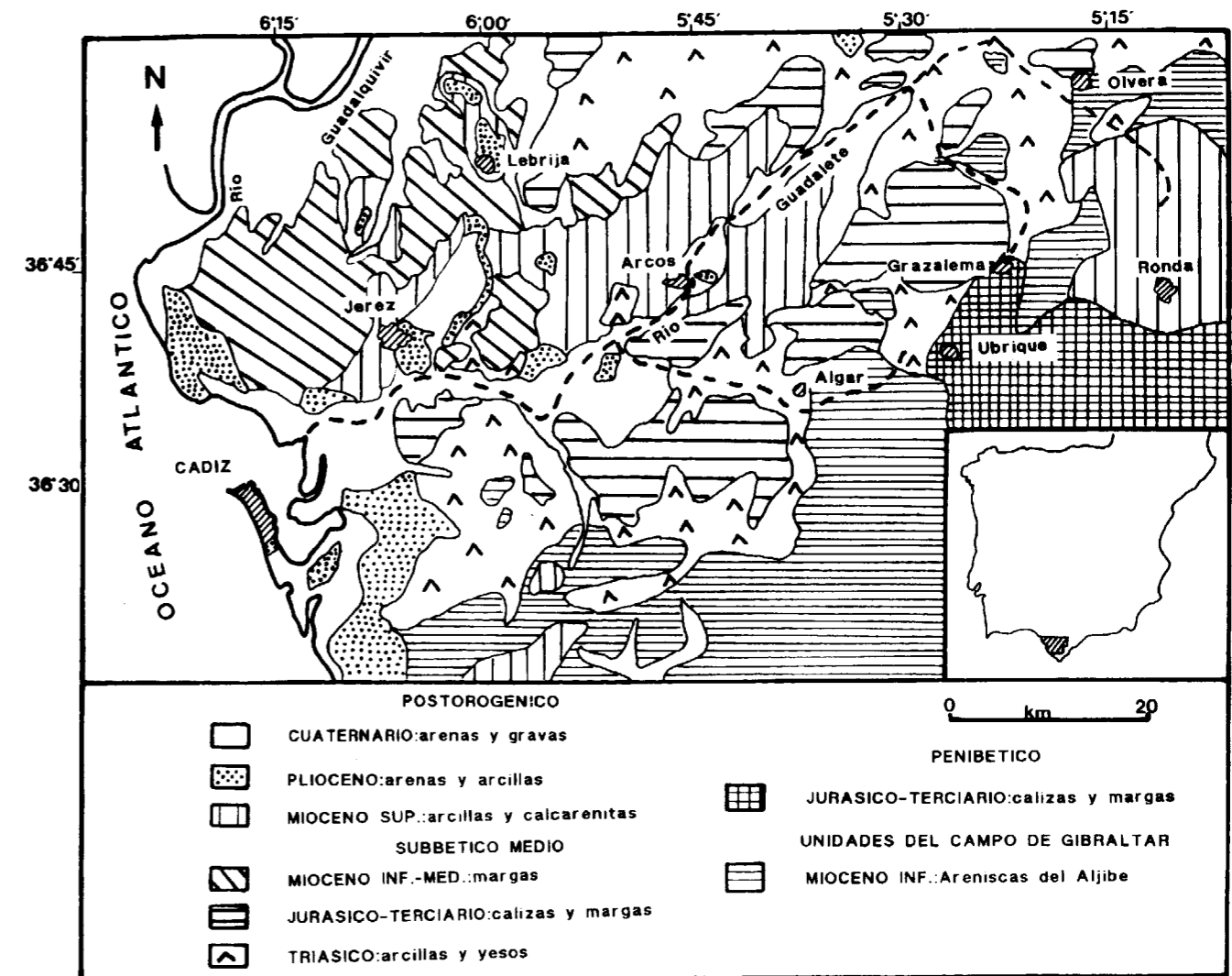


Fig. 1. Mapa geológico de la zona estudiada.

tuida por materiales pliocenos de la cuenca Arcos-Bornos; II: Jerez-Lebrija, formada fundamentalmente por medios de transición y lacustres pliocenos; III: Materiales de las terrazas de la Cuenca media y baja del río Guadalete; y IV: Costa Atlántica: en la que se explotan las calcarenitas del Mioceno costero. (Tabla 1).

MATERIAS PRIMAS Y YACIMIENTOS

Arenas silíceas

En la zona existen los únicos yacimientos explotables, de esta materia prima, en Andalucía. Se

localizan en las zonas de Arcos-San José del Valle y Jerez-Lebrija, en materiales pliocenos depositados en medios continentales (Arcos-San José del Valle) y litorales (Jerez-Lebrija). Entre las numerosas explotaciones existentes, destacan Isabelita, San José, Alcornocales y las Arenosas en la Zona de Arcos-San José, y en la Zona de Jerez-Lebrija el sector extractivo del Trobal y el Tollón (Fig 2).

Las arenas de la Zona Arcos-San José con excepción del yacimiento de las Arenosas son muy parecidas, teniendo potencias que oscilan entre los 8 y los 10 m. En general son de color blanco amarillento y muestran estratificación cruzada en

ZONA	MATERIAS PRIMAS	EDAD
I. Arcos-San José del Valle	Arcillas industriales Calcarenitas Arenas silíceas	Mioceno Mioceno superior Plioceno
II. Jerez-Lebrija	Arcillas industriales Arenas silíceas Arenas especiales	Mioceno Plioceno Plioceno-Cuaternario
III. Cuenca media y baja del río Guadalete	Arenas y gravas	Cuaternario
IV. Costa atlántica	Calcarenitas Sierra San Cristobal Calcarenitas cuenca del río Barbate	Mioceno superior Mioceno superior

TABLA 1.- Principales zonas extractivas de la región occidental de la provincia de Cádiz.

surco de gran escala. Hacia el techo del paquete arenoso aparecen intercalaciones de margas azules con potencias que van desde el cm al m.

Los estudios mineralógicos y petrográficos realizados en estos materiales (MORAL CARDONA et al., 1995) dan para el cuarzo un contenido medio superior al 95% con un neto predominio del tipo monocristalino sobre el policristalino. Los feldespatos, cuando existen, corresponden a feldes-

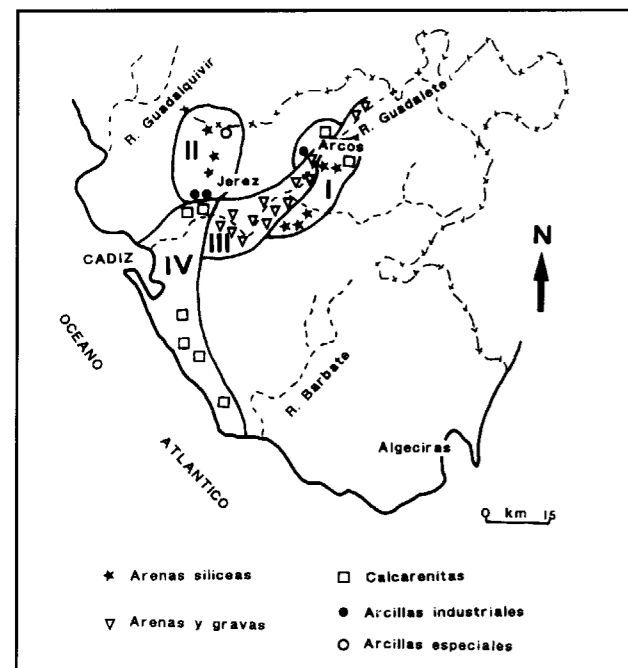


Fig. 2. Situación de los diferentes sectores extractivos y tipos de materias primas que se explotan.

pato potásico y los pocos fragmentos líticos son de rocas sedimentarias (areniscas). Se trata de sedimentos de una gran madurez mineralógica como lo confirma su gran contenido en cuarzo y la asociación de minerales pesados que presenta -circón, turmalina y rutilo- todos ellos especies ultraestables (Tabla 2).

Las explotaciones de Isabelita y San José se localizan en Arcos de la Frontera y pertenecen a la empresa Arenas Silíceas, S. A., accediéndose a ellas por la carretera comarcal C-334 Arcos-El Bosque, a la altura del Km 3. Mientras que Alcornocales se localiza en el término municipal de Jerez de la Frontera, cerca de la localidad de San José del Valle.

La explotación de las Arenas, perteneciente a la empresa ASIROSA, (Arenas Silíceas Rojas, S. A.), se encuentra muy cerca de la localidad de San José del Valle. Se accede a ella por el Km 31,400 de la carretera Jerez-San José del Valle. El yacimiento tiene una gran extensión lateral, con una potencia mínima de 9 m. En general presenta dos niveles bien definidos, separados por una superficie de deslizamiento gravitacional. El nivel inferior, de color rojizo, con una potencia mínima de 5 m está formado por alternancia de arenas gruesas y finas. El nivel superior es muy heterométrico y está formado por una matriz arenosa con lechos de cantos que alcanzan hasta 20 cm de diámetro, y en él se observan estructuras tipo "slumping" y de escape de fluidos. Las arenas tienen un alto contenido en sílice (> 90%), pero

ZONA	%Q	%Feld	%Plag	%Qm	%Qp	Asociación de minerales pesados
Arcos-San José	>95	<5	0	91	9	Circón, Turmalina y Rutilo
Jerez-Lebrija	>75	9	<5	56	44	Andalucita, Estaurolita y Epidota

TABLA 2.- Composición mineralógica media de las arenas silíceas en las distintas zonas.

inferior a los casos anteriores, con amplio predominio del cuarzo monocristalino sobre el policristalino y la misma asociación de minerales pesados (circón, turmalina y rutilo).

Las principales explotaciones de la Zona Jerez - Lebrija (Fig. 2), están en el sector de el Trobal y en el Tollón, el primero está prácticamente agotado y en vías de restauración, mientras que el Tollón está en actividad y aún tiene importantes reservas.

Las arenas de esta zona son diferentes a las de Arcos - San José del Valle, tienen menos cuarzo y más feldespatos y fragmentos de roca. Las cantidades de cuarzo monocristalino y policristalino son muy parecidas y la asociación de minerales pesados está formada por andalucita, estaurolita y epidota + turmalina (Tabla 2). Estas características indican que estas arenas tienen un menor grado de madurez mineralógica y proceden de áreas fuentes muy diferentes a las de la Zona Arcos - San José del Valle.

La serie estratigráfica del Plioceno de la zona de Jerez - Lebrija (Fig. 3), presenta tres tramos bien definidos. Uno inferior formado por arenas con pectínidos con potencia superior a 50 m, cuya edad ha sido atribuida al Plioceno inferior (VIGUIER, 1974), que corresponden a depósitos de plataforma continental. El tramo superior está constituido por depósitos lacustres formados por margas blancas que en algunos sitios tienen importantes contenidos de sepiolita y paligorskita, y calizas con sílex. Las explotaciones de arenas se localizan en el tramo intermedio, que alcanza potencias de 12 m, y está formado, principalmente, por niveles arenosos blanco amarillentos con intercalaciones de lutitas verdes con

valvas de *Crassostrea* sp. que predominan hacia el techo. Este tramo presenta numerosos cambios de facies, mientras que en el Tollón predominan las arenas, en el sector del Trobal las lutitas pueden llegar a tener 3 y 4 m de potencia.

Arcillas industriales

Los depósitos de estos materiales en la zona son abundantes y están asociados, fundamentalmente, a formaciones postorogénicas de edad terciaria depositadas en ambientes marinos. Su asociación mineralógica está formada por 48% de esmectita, 37% de illita y 15% de caolinita. Las principales explotaciones se localizan en Arcos de la Frontera y Jerez (Fig. 2), ubicándose sobre moronitas y arcillas azules del Mioceno superior.

Arcillas especiales. Sepiolita-Paligorskita.

La explotación pertenece a la empresa Hefran S. A. y se sitúa junto a la localidad de el Cuervo, en el límite entre las provincias de Cádiz y Sevilla (Fig. 2). Tiene una importancia nacional ya que sólo se conocen otros en Toledo, Madrid y Cáceres.

El nivel explotado presenta una potencia de unos 12-16 metros de margas blancas cuyo contenido en sepiolita y paligorskita llega a alcanzar el 30%, la asociación mineralógica se completa con carbonatos, 40%, filosilicatos, 37%, y cuarzo y feldespatos, <5%. El medio de depósito corresponde a pequeñas cuencas lacustres, cercanas a la línea de costa, que se desarrollaron en esta zona durante el Plioceno. Su origen ha sido atribuido a procesos de neoformación en un am-

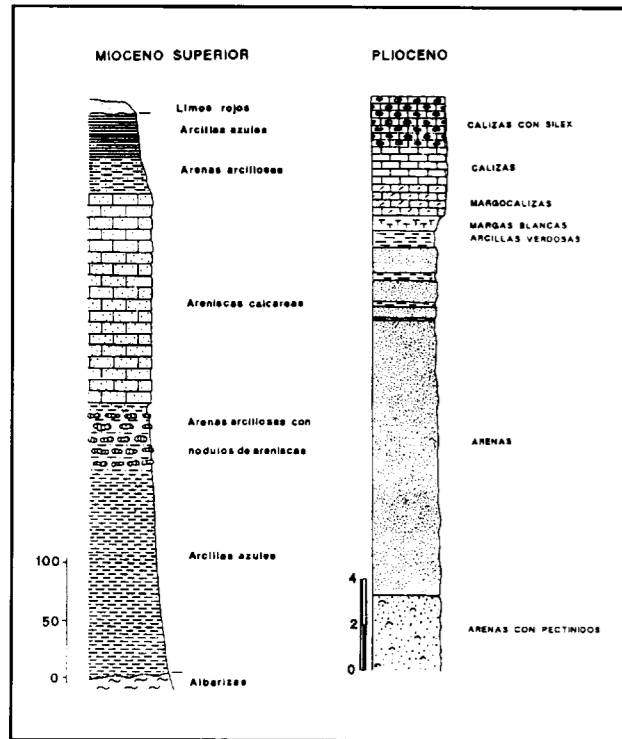


Fig. 3. Series estratigráficas del Mioceno superior de Arcos y del Plioceno de la zona Jerez - Lebrija.

biente salobre y clima árido para la sepiolita, y a procesos de transformación de ilitas, para la paligorskita, en un ambiente más húmedo (GALAN y FERRERO, 1982).

Areniscas

Son el producto de cantera, junto con las calizas jurásicas, más abundante de la provincia. Las explotaciones se localizan mayoritariamente en las formaciones de calcarenitas del Mioceno superior (Fig. 2), que afloran ampliamente en la zona y que en algunos puntos (p.e. Arcos) alcanzan potencias de 200 m (Fig. 3). Los materiales son areniscas calcáreas con abundantes bioclastos (40%) en los que abundan restos de moluscos, el cuarzo (55%) es principalmente monocristalino, el 5% restante está constituido por feldespatos y filosilicatos. En la asociación de minerales pesados predominan el granate y la andalucita. Presentan estratificación cruzada en surco de gran escala y se les ha atribuido un medio de depósito litoral (VIGUIER, 1974). En la zona de estudio existen un total de 20 explotacio-

nes de areniscas estando localizadas en los términos municipales de Arcos, Jerez, El Puerto de Santa María, Chiclana y Vejer.

Arenas y gravas

Son las explotaciones más numerosas en la zona estudiada, junto con las de areniscas. Se distribuyen en la cuenca del río Guadalete, en concreto, en sus zonas media y baja (Fig. 2).

Las arenas tienen un contenido medio de cuarzo superior al 60%, en el que predomina la variedad monocristalina sobre la policristalina. La presencia de carbonatos y bioclastos con contenidos superiores al 30% es el rasgo diferencial más significativo de estos materiales. Otros componentes son los fragmentos de roca (areniscas, ofitas, sílex y calizas), feldespatos y filosilicatos.

En su mayor parte son depósitos de origen fluvial, terrazas y llanuras de inundación, que proliferan en los cursos medio y bajo del río Guadalete. La potencia de las arenas y gravas es variable, oscilando entre los 3,5 y los 8 metros. Las terrazas antiguas presentan un mayor contenido en gravas mientras que en la terraza más joven y en lecho actual predominan las arenas.

TECNICAS DE EXPLOTACION Y PROCESAMIENTO

La extracción mineral implica una serie de operaciones que van desde la separación y eliminación de la montera y el estéril, pasando por el diseño de las voladuras y los métodos de transporte y carga del mineral, hasta la selección y planificación del equipo y la protección medioambiental.

En la extracción hay que considerar cuatro operaciones básicas: desmonte del recubrimiento y preparación del frente, fragmentación primaria, excavación y carga y por último transporte a la planta de tratamiento (SUAREZ y REGUEIRO, 1994).

Los métodos de extracción utilizados, en la zona de estudio, pertenecen, dentro de la minería a cielo abierto, a dos tipos fundamentalmente: canteras, graveras (Tabla 3).

Las canteras se utilizan para la mayor parte de las materias primas estudiadas, predominando el tipo de cantera de ladera, donde el material extraído se transporta ladera abajo hasta una planta o zona de tratamiento. El laboreo consiste en el banqueo del frente, con uno o dos niveles, que suele encontrarse a media ladera. Entre la maquinaria empleada destacan los bulldozers y las palas cargadoras (BUSTILLO y LOPEZ JIMENO, 1996).

Las graveras es el sistema empleado para los depósitos detríticos fluviales y eólicos. Se diferencian de las canteras en un mayor uso del terreno, debido a la relativa poca profundidad de las explotaciones, y a la necesidad de un control inmediato del medio ambiente y de la restauración. La extracción se realiza en un sólo banco con una profundidad inferior a los 15 metros. La maquinaria empleada consiste en bulldozers, retroexcavadoras y palas cargadoras, cuando el material se extrae por debajo del nivel freático se utilizan dragalinas.

El tratamiento que sufren las diferentes materias primas de la zona consiste en preparar la roca o mineral, de forma que sea adecuado para su uso comercial; dicho tratamiento suele venir definido, principalmente, en términos de tamaño de partícula y distribución granulométrica. Las plantas de tratamiento suelen incluir instalaciones de machaqueo, molienda (a veces) y clasificación, junto con el equipo de manipulación y transporte como cintas transportadoras y los alimentadores (Tabla 3).

En general, el producto extraído se tritura, muele y clasifica, si no al mismo pie de explotación, en instalaciones próximas que utilizan conjuntamente las distintas explotaciones de la zona. Esta primera y básica transformación presenta una clara ventaja económica de cara a los explotadores, ya que permite elevar el precio de los materiales extraídos que por su naturaleza no alcanzan precios importantes en el mercado de materias primas.

En conjunto más del 50% de las explotaciones existentes en la zona, tienen a pie de explotación instalaciones de diversa importancia.

Las arenas silíceas de Arcos son tratadas en la

misma explotación Isabelita. Las instalaciones constan de dos plantas de lavado y una de secado. Una vez finalizado el proceso, las arenas poseen una ley en sílice del 99%, con unos contenidos en Fe_2O_3 de 0,06%, Al_2O_3 0,5% y CaO 0,05%. Esta composición hace que estas arenas sean de las de mejor calidad de Andalucía, sobre todo para las exigencias de las fábricas de vidrio.

En las Arenosas existe una planta donde los materiales son lavados y clasificados por vía húmeda, obteniéndose unas arenas con un contenido en Fe_2O_3 del 0,11%.

Mientras, en la Zona Jerez - Lebrija, los materiales no sufren ningún tratamiento a pie de cantera, existiendo como única instalación una criba de gravedad. Las arenas que se extraen del Tollón son de buena calidad con un contenido en Fe_2O_3 del orden de 0,7%, Al_2O_3 del 3-5% y Na_2O del 3%.

Las arcillas industriales son transportadas a las fábricas de cerámica, que normalmente se encuentran a pie de cantera, tal como se extraen, sin sufrir ningún tratamiento. Su composición química es la siguiente: SiO_2 : 48%, Al_2O_3 : 11%, Fe_2O_3 : 5%, MgO: 2%, CaO: 15% y Na_2O+K_2O : 4% (p.c.:15%) (Consejería de Economía y Hacienda, 1992).

Con respecto a las arcillas especiales, el material una vez extraído, se extiende en capas delgadas en la misma explotación para realizar un secado previo al traslado de éste a la planta que se localiza en la localidad sevillana de Lebrija. En ella el material sufre una trituración en tres fases y secado. Una vez finalizado el tratamiento, el producto es una sustancia granular blanquecina con una capacidad de absorción del 70-80%, que se envasa o almacena para vender a granel. La composición química del producto es: SiO_2 : 30%, Al_2O_3 : 5%, Fe_2O_3 : 2%, MgO: 5%, CaO: 26%, Na_2O : 2% y K_2O : 1% (p.c.: 29%) (datos sin publicar de la Consejería de Economía y Hacienda de la Junta de Andalucía).

En las explotaciones de areniscas, arenas y gravas, el material se emplea tal como sale de la cantera. Las únicas instalaciones que suelen presentar corresponden a cribas de gravedad y bás-

MATERIA PRIMA	EXPLOTACION	TRATAMIENTO	IMPACTO AMBIENTAL
Arenas silíceas	Cantera	Lavado, clasificación y secado	Vegetación e hidrogeológico
Arcillas industriales	Cantera	Secado	Visual moderado
Arcillas especiales	Cantera	Trituración y secado	Hidrogeológico y visual
Areniscas	Cantera	Trituración y cribado	Visual importante
Arenas y gravas	Gravera	Trituración, lavado y clasificación	Hidrogeológico importante

TABLA 3.- Tipo de explotación, tratamiento y principales impactos ambientales para las distintas materias primas.

cula para las calcarenitas y plantas de lavado y trituración para las arenas y gravas.

LAS ACTIVIDADES EXTRACTIVAS Y EL MEDIO AMBIENTE

La planificación de una explotación debe de tener en cuenta, a parte de la rentabilidad, el conseguir una protección aceptable del medio durante la fase de extracción y la eventual restauración de la zona para un uso posterior beneficioso. La legislación básica sobre la minería y el medio ambiente está recogida fundamentalmente en dos normativas:

- El Real Decreto 2994/82, de 15 de octubre, sobre restauración del espacio natural afectado por actividades mineras.
- El Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de impacto ambiental.

Esta legislación pretende establecer los mecanismos para conservar la calidad ambiental de los diversos ecosistemas, así como la recuperación del medio físico afectado (IGTE, 1995).

Impactos ambientales de las explotaciones de la zona y métodos de restauración

Arenas silíceas.- Este tipo de explotaciones conlleva la formación de grandes socavones (Fig. 4 C) y la acumulación de estériles que luego son utilizados para rellenar y restituir la zona explotada, produciendo una alteración de formas y volúmenes por el cambio de morfología del terreno. Igualmente, al encontrarse una gran parte de ellas sobre antiguos pinares que han sido talados, el impacto sobre la vegetación es

notable. El impacto visual de la mayoría de estas explotaciones no es importante debido a su localización en terreno llano y su nula visibilidad desde núcleos urbanos. Otro hecho a tener en cuenta es la posible alteración de los acuíferos, caso del acuífero Arcos-Bornos-Espera para las exploraciones de la zona de Arcos, así como el impacto por el polvo (Consejería de Economía y Hacienda de la Junta de Andalucía, 1992).

El plan de restauración de estas explotaciones se basa en el relleno del hueco por los estériles para restituir la topografía primitiva (Fig. 4 A y B). Para la disminución del impacto sobre la vegetación se están replantando las especies originarias en las zonas restauradas, (p.e. pinos en las explotaciones San José e Isabelita), mientras que el impacto por el polvo se disminuye regando periódicamente el patio de la cantera y poniendo lonas a los camiones que transportan el material. Para minimizar el impacto hidrogeológico deben evitarse actividades que puedan ocasionar la contaminación de los acuíferos, tales como el cambio y vertido de aceite de maquinarias y de otros materiales y residuos. Igualmente se recomienda no alcanzar el nivel piezométrico, y si esto es inevitable para la evolución de la explotación, se limitará la superficie expuesta, procediéndose al relleno, una vez finalizada la extracción para evitar pérdidas por evaporación y vertidos de residuos tóxicos.

Arcillas industriales.- Las diferentes explotaciones presentan un moderado impacto ambiental desde el punto de vista paisajístico. La restauración de estas explotaciones es muy simple, se limita al relleno del hueco por estériles y los terrenos quedan con un suave talud integrados en el entorno.

Arcillas especiales.- El yacimiento se encuentra junto a la localidad de El Cuervo y los impactos más importantes son el hidrológico, dado que afecta al acuífero de la laguna de los Tollos y el impacto visual. Este último es debido a su ubicación en las proximidades de la laguna y a la gran visibilidad que presenta desde la autopista A-4.

La extracción del material y la restauración del hueco dejado se realizan de forma simultánea. Posteriormente se realiza el ataluzamiento y la restitución del suelo vegetal.

Areniscas.- Desde el punto medioambiental, las

explotaciones de estas materias primas, presentan impacto, sobre todo visual, que se ve aumentado por el hecho de que una gran parte de ellas se sitúan en laderas (p. e. las antiguas canteras de la Sierra de San Cristóbal, cerca del Puerto de Santa María). Otro aspecto, a tener en cuenta, es la dificultad de restauración, ya que al no producir apenas estériles, su relleno es casi imposible. Para paliar estos problemas, el diseño previo de la explotación en estas canteras juega un papel decisivo.

La restauración de este tipo de canteras consiste en la creación de pantallas de origen vegetal que hagan disminuir la visibilidad de las explotacio-

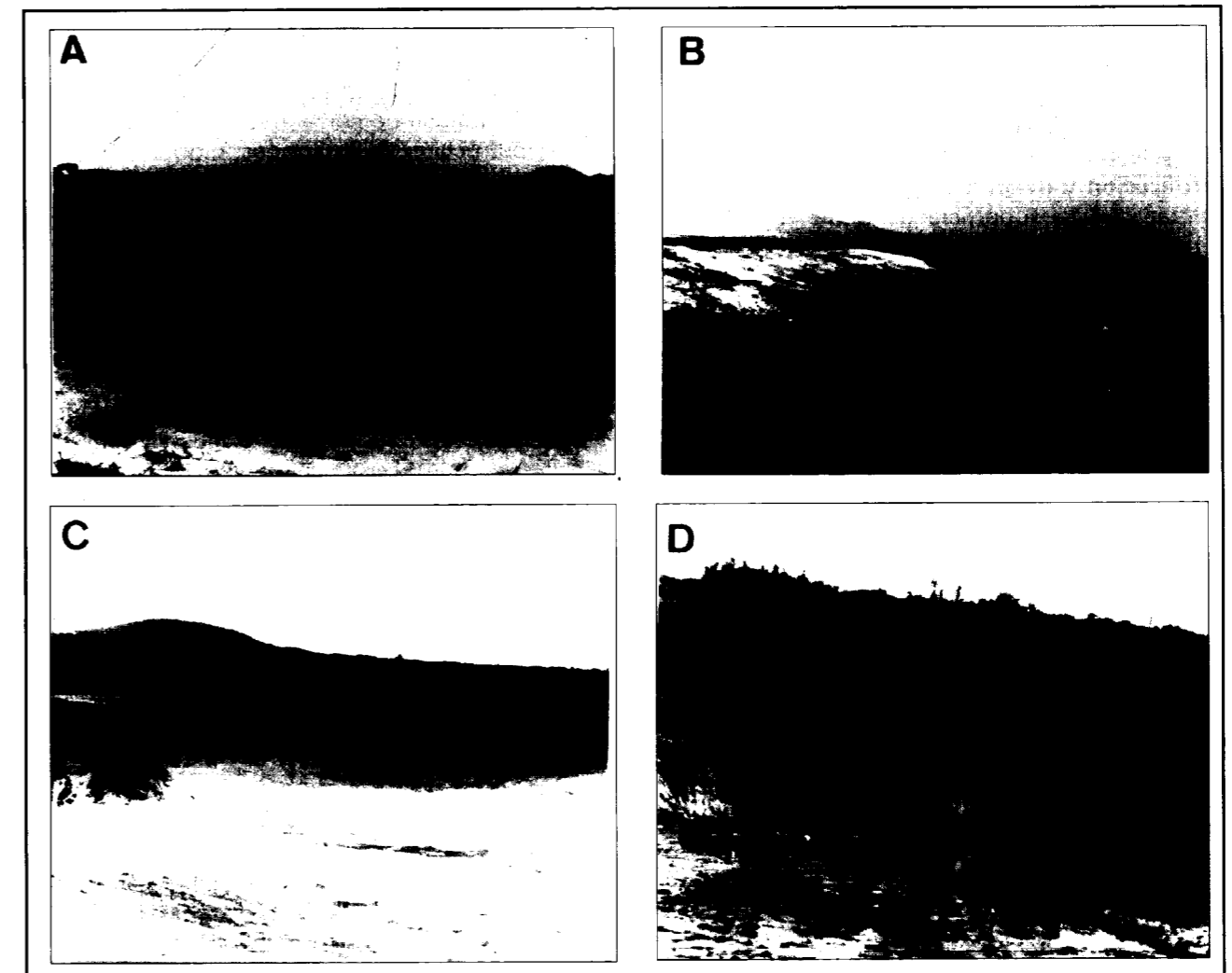


Fig. 4. Diferentes impactos ambientales ocasionados por algunas de las explotaciones estudiadas. A y B: Explotación de arenas silíceas en la zona de Jerez-Lebrija antes y después de su restauración. C: Explotación actual de arenas silíceas en Arcos de la Frontera. D: Extracción de arenas y gravas que afecta al acuífero aluvial del río Guadalete.

Arcillas especiales.- El yacimiento se encuentra junto a la localidad de El Cuervo y los impactos más importantes son el hidrológico, dado que afecta al acuífero de la laguna de los Tollos y el impacto visual. Este último es debido a su ubicación en las proximidades de la laguna y a la gran visibilidad que presenta desde la autopista A-4.

La extracción del material y la restauración del hueco dejado se realizan de forma simultánea. Posteriormente se realiza el ataluzamiento y la restitución del suelo vegetal.

Areniscas.- Desde el punto medioambiental, las

explotaciones de estas materias primas, presentan impacto, sobre todo visual, que se ve aumentado por el hecho de que una gran parte de ellas se sitúan en laderas (p. e. las antiguas canteras de la Sierra de San Cristóbal, cerca del Puerto de Santa María). Otro aspecto, a tener en cuenta, es la dificultad de restauración, ya que al no producir apenas estériles, su relleno es casi imposible. Para paliar estos problemas, el diseño previo de la explotación en estas canteras juega un papel decisivo.

La restauración de este tipo de canteras consiste en la creación de pantallas de origen vegetal que hagan disminuir la visibilidad de las explotacio-

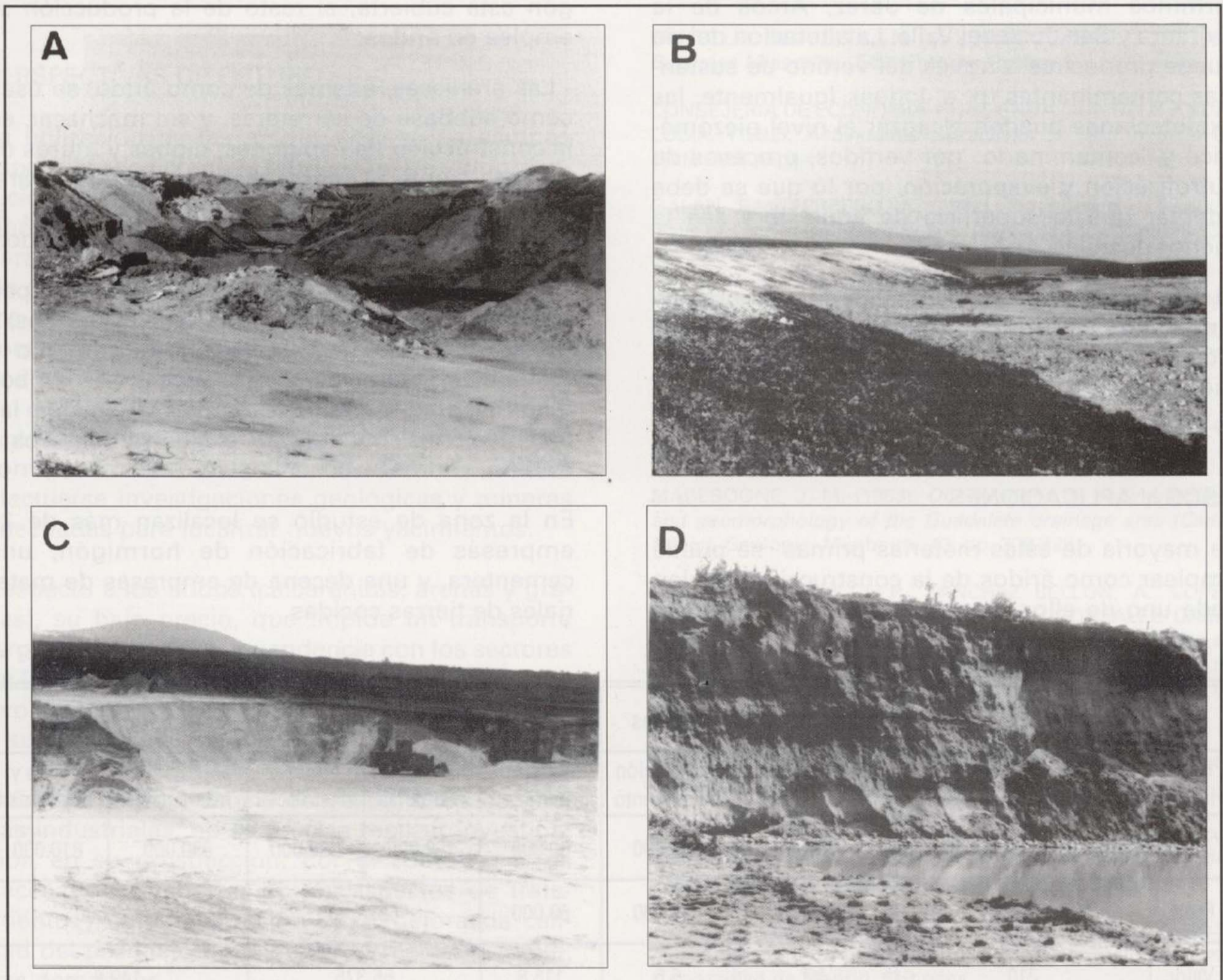


Fig. 4. Diferentes impactos ambientales ocasionados por algunas de las explotaciones estudiadas. A y B: Explotación de arenas silíceas en la zona de Jerez-Lebrija antes y después de su restauración. C: Explotación actual de arenas silíceas en Arcos de la Frontera. D: Extracción de arenas y gravas que afecta al acuífero aluvial del río Guadalete.

nes. Los sistemas de explotación deben de contemplar una topografía estructurada en bancos, con taludes de 45° de ángulo máximo, y amplias bermas que favorezcan la instalación de especies, que actúen además como barreras para posibles desprendimientos de los taludes.

Arenas y gravas.- Como ya se ha indicado los depósitos que se explotan corresponden, principalmente, a la llanura de inundación y a las antiguas terrazas del río Guadalete. Los principales impactos ambientales de estas explotaciones son aquellos que pueden alterar al río y a su importante acuífero aluvial (Fig. 4 D) que, con una extensión de 150 Km², comprende parte de los términos municipales de Jerez, Arcos de la Frontera y San José del Valle. La alteración del río puede producirse a través del vertido de sustancias contaminantes (p. e. lodos). Igualmente, las explotaciones pueden alcanzar el nivel piezométrico y contaminarlo por vertidos, procesos de eutrofización y evaporación, por lo que se debe intentar que la superficie de agua libre sea la menor posible.

El sistema de explotación facilita la restauración simultánea. En las últimas etapas de la restauración se restituye en suelo original, que previamente se había desmontado.

USOS Y APLICACIONES

La mayoría de estas materias primas se puede emplear como áridos de la construcción, si bien cada uno de ellos presenta diferentes propieda-

des que las hacen útiles para distintas actividades dentro de este sector (Tabla 4):

- Las arenas y gravas se usan para la fabricación de hormigón. A pesar de la alta demanda que existe de arenas para la regeneración de playas y de la cercanía de las explotaciones al litoral, hay dos razones que impiden utilizar estas arenas para dicho fin. Por un lado, su alto contenido bioclástico y por el otro, el bajo porcentaje en estas arenas de la granulometría comprendida entre los tamaños 0,25 y 0,35 mm, que son los más adecuados para garantizar una mayor permanencia del sedimento y una menor modificación de pendientes en el perfil de la playa. La demanda de arenas y gravas para la fabricación de hormigón está cubierta, el resto de la producción se emplea en áridos.

- Las areniscas, además de como árido, se usan como subbase de carreteras, y sin machacar, en la construcción de espigones, diques y muros de defensa frente al mar. Las necesidades de arenisca para usos concretos están cubiertas, el superávit se utiliza para la elaboración de áridos.

- Las arcillas industriales se utilizan, principalmente, para material cerámico (tejas y ladrillos) y las margas para la fabricación de cemento y materiales cerámicos. La producción de ambos materiales se ajusta a la demanda, ya que las explotaciones se dedican exclusivamente para este fin.

En la zona de estudio se localizan más de 20 empresas de fabricación de hormigón, una cementera, y una decena de empresas de materiales de tierras cocidas.

Arenas silíceas		Arcillas industriales	Margas	Arcillas especiales	Areniscas		Arenas y gravas	
Fabricación de vidrio y fundición	Aridos y construcción	Materiales para tierra cocida	Fabricación de cemento	Industria química	Subbase de carreteras	Aridos y construcción	Fabricación de hormigones	Aridos y construcción
250.000	120.000	136.000	640.000	60.000	382.000	280.000	630.000	810.000
Prod.	370.000	136.000	640.000	60.000	662.000		1.440.000	
Valor	210	4,7	5,5	115,8	55,375		149,6	

TABLA 4.- Aplicaciones, producción (en Tn anuales) y valor (en millones de ptas.) de las materias primas de la zona (datos tomados de la Consejería de Economía y Hacienda de Andalucía, 1992).

Las materias primas que tienen un uso más específico son:

- Las arenas silíceas, en su mayoría abastecen las fábricas de envases de vidrio. Por su gran calidad, en especial las de la zona de Arcos - San José pueden ser utilizadas en otras aplicaciones como moldes de fundición, fibra de vidrio, industria química de compuestos de sílice, etc.

- La sepiolita-paligorskita, son utilizadas en la industria química como material absorbente y como soporte de insecticidas. La producción de esta zona es una de las más importantes de España, destinándose casi por completo a la exportación.

PERSPECTIVAS DE FUTURO

La utilización de las arenas silíceas en campos especializados como la fabricación de vidrio, fundición, abrasivos, etc., hace que deban potenciarse aspectos relacionados con su tratamiento para conseguir productos finales que cumplan las especificaciones exigidas por los consumidores. Hay que buscar las necesarias redes de comercialización para dar salida, en los mercados correspondientes, a arenas de esta calidad, ya que sólo una de las empresas de la zona, Arenas Silíceas de Arcos, tiene una red de comercialización diversificada. También deben efectuarse investigaciones geológicas y mineras adecuadas para localizar nuevos yacimientos.

Respecto a los áridos (calcarenitas, arenas y gravas), su bajo precio, que impide un transporte largo, y su estrecha dependencia con los sectores de la construcción y obras públicas, hacen que su evolución dependa de estos, debiendo adaptarse a su demanda.

Debido a la abundancia de yacimientos de arcillas industriales, no se precisa realizar investigación en su prospección. Por el contrario sí es necesario profundizar en los aspectos de tratamiento y comercialización para mejorar la calidad del producto final y abrir el mercado a nuevas demandas.

Por último, las arcillas especiales tienen bien diseñado su tratamiento y comercialización, sin embargo consideramos interesante valorar la posibilidad de explotar otros yacimientos de menor ley, lo que requiere planificar nuevas investigaciones de prospección, ya que tras la entrada de España en la CEE y el aumento de la cuota nacional de participación de absorbentes, se han abierto expectativas esperanzadoras para esta materia prima.

REFERENCIAS

- BENKHELIL, J. (1976): *Etude neotectonique de la terminaison occidentale des Cordillères Bétiques*. These 3^{ème} cycle. Université de Nice. 180 págs..
- BUSTILLO REVUELTA, M. y LOPEZ JIMENO, C. (1996): *Recursos Minerales*. Edit. Entorno Gráfico S. L. 372 págs.
- CONSEJERIA DE ECONOMIA Y HACIENDA. JUNTA DE ANDALUCIA. (1992): *Actividades extractivas en la Provincia de Cádiz*. 182 págs.
- GALAN, E. y FERRERO, A. (1982): *Palygorskite - Sepiolite clays of Lebrija, southern Spain*. Clays and Clay Minerals, 30, pp. 191-199.
- GUTIERREZ MAS, J. M., MARTIN ALGARRA, A., DOMINGUEZ BELLA, S. y MORAL CARDONA, J. P. (1991): *Introducción a la geología de la Provincia de Cádiz*. Servicio de publicaciones de la Universidad de Cádiz. 315 págs.
- ITGE. (1995): *Libro blanco de la minería de la Comunidad de Madrid*. 283 págs.
- MABESOONE, J. M. (1963): *Observations on sedimentology and geomorphology of the Guadalete drainage area (Cádiz, Spain)*. Geologie Mijnbouw. 42, pp. 309-328.
- MORAL CARDONA, J. P., SANCHEZ BELLON, A., LOPEZ AGUAYO, M. A., CABALLERO, M. A. y GONZALEZ CABALLERO, J. L. (1995): *Estudio mineralógico y petrográfico de algunos afloramientos de arenas pliocenas y cuaternarias de la cuenca baja del río Guadalete y zonas próximas (SO de España)* Bol. Soc. Esp. Min. 18, pp. 169-178.
- SUAREZ, L y REGUEIRO, M. (1994): *Aridos*. Colegio Oficial de Geólogos de España. 435 págs.
- VIGUIER, C. (1974): *Le Néogène de l' Andalousie Nord-occidentale (Espagne)*. Histoire géologique du bassin du bas Guadalquivir. Thèse Université Bordeaux, 449 págs.
- ZAZO, C. (1980): *El Cuaternario marino-continental y el límite Plio-Pleistoceno en el litoral de Cádiz*. Tesis Doctoral. 2 vol. Universidad de Madrid. 610 págs.

Original recibido: Septiembre 1996.
Original aceptado: Enero 1997.

EL METAMORFISMO DE BAJO Y MUY BAJO GRADO DE LOS MATERIALES CARBONIFEROS DEL AREA HERCINICA DE SIERRA MORENA

Por A. APARICIO (*), R. GARCIA (*) y J. M. BRELL (**)

RESUMEN

Se definen las características del metamorfismo regional hercínico que afecta a los materiales carboníferos de Sierra Morena así como sus relaciones con las series Devónicas y del Paleozoico Inferior. Se analiza la influencia del metamorfismo de contacto producido por intrusiones plutónicas.

Palabras clave: Metamorfismo regional, muy bajo grado. Metamorfismo de contacto. Sierra Morena (España).

ABSTRACT

The characteristics of the Hercynian regional metamorphism in carboniferous samples of Sierra Morena are described, so as the relationships with the Devonian and Lower Paleozoic materials. The influence of contact metamorphism on regional metamorphism is also analyzed.

Key words: Regional metamorphism, very low grade. Contact metamorphism. Sierra Morena (España).

INTRODUCCION

Los principales afloramientos carboníferos del área Hercínica en Sierra Morena se sitúan según amplias bandas paralelas al batolito de Los Pedroches y en la cuenca de Peñarroya-Pueblonuevo. Los límites de este carbonífero lo constituyen los materiales plutónicos de Los Pedroches y de Villaviciosa de Córdoba y las series devónicas, igualmente extensas, que se localizan, en concordancia estructural con el carbonífero, al Norte y Sur de Los Pedroches (Fig. 1).

En una primera estimación de estos carboníferos (Pérez Lorente 1979) se les asignó una edad similar (Carbonífero Inferior) pero posteriores estudios (Pérez Lorente y Gabaldón 1983, Gabaldón

et al. 1985a, 1985b) han podido demostrar que el Carbonífero de Los Pedroches presenta una edad inferior Viseense-Namuriense mientras que la cuenca Peñarroya-Pueblonuevo correspondería al Westfaliense B.

La baja intensidad del metamorfismo regional que afectó a estas series devónico-carboníferas ha hecho que sean escasos los trabajos sobre las características y condiciones del metamorfismo que las afecta. Sánchez Cela y Gabaldón (1977) indican condiciones anquizonales y Orviz et al. (1976) hablan de un ligero metamorfismo regional. Para otros autores (Mira et al. 1987) el metamorfismo regional es inexistente o bien se alcanza la facies de Esquistos verdes (Castelló y Orviz 1976).

La intrusión de materiales plutónicos (Aparicio et al. 1977) sobre estas series ha superpuesto un metamorfismo de contacto que se manifiesta en la formación de pizarras mosqueadas y cornea-

(*) Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

(**) Dpto. Estratigrafía. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

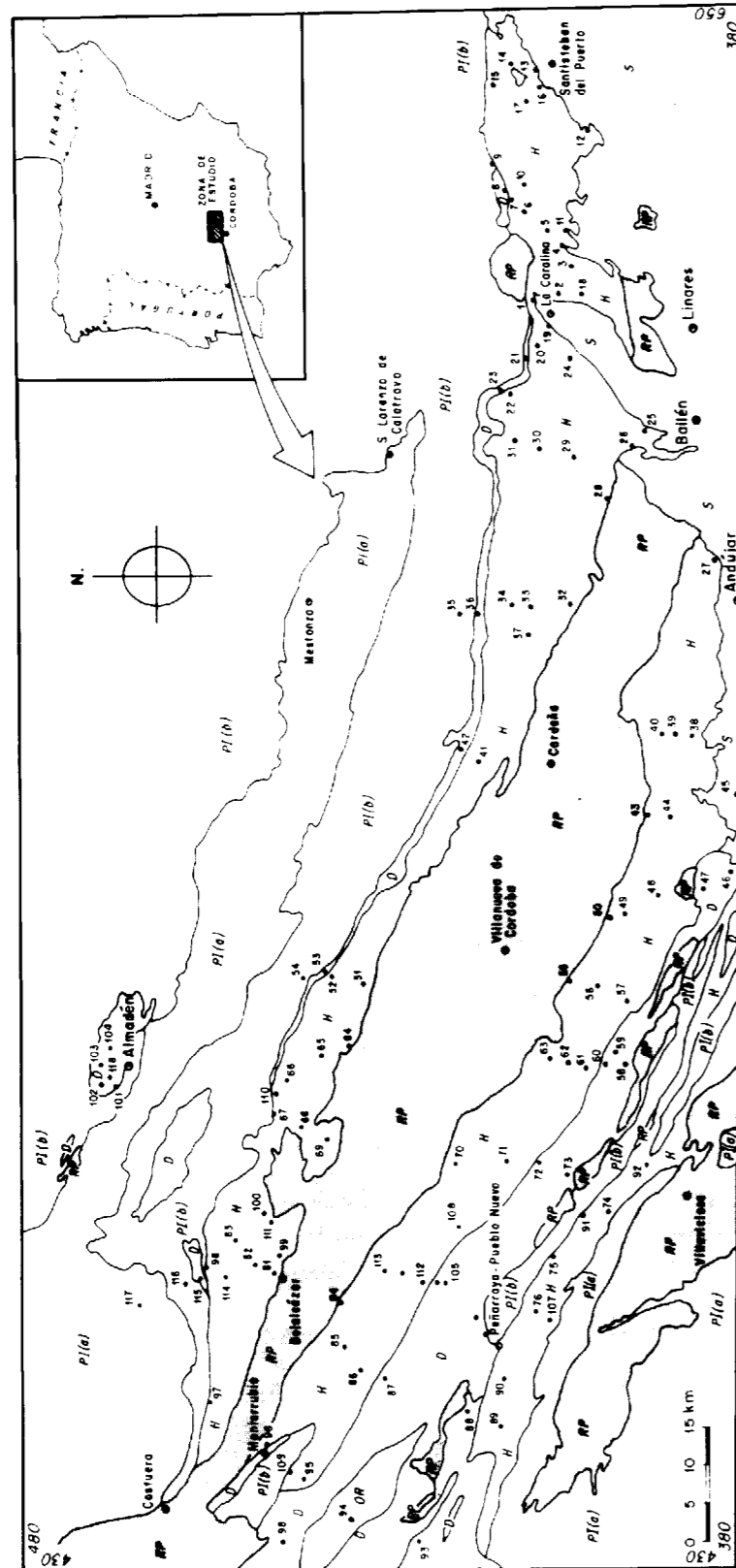


Fig. 1.- Esquema geológico del área estudiada con la situación de las muestras analizadas P1 = Paleozoico Inferior, D = Devónico, H = Carbonífero, RP = Rocas Plutónicas, S = Sedimentos.

nas que ha enmascarado, al menos en áreas próximas a los contactos, las características de este metamorfismo regional. Se ha intentado por ello incluir áreas devónico-carboníferas en las que las rocas plutónicas no esten, al menos, aflorantes en superficie, y el metamorfismo de contacto no interfiera en el proceso metamórfico regional.

Con estos criterios se seleccionaron un total de 118 muestras correspondientes al Carbonífero y Devónico, aunque a efectos comparativos se incluyen también algunas muestras del paleozoico inferior y otras muestras del Carbonífero afectadas por metamorfismo de contacto en las que es patente la textura mosqueada. Sobre estas muestras se hicieron determinaciones de las paragénesis y de los diferentes parámetros químicos estructurales. Para ello se utilizaron técnicas de DRX y de microscopía óptica. Las difracciones se realizaron en polvo total, A.O. (E.G. 550). Las características de los equipos y las condiciones de medida pueden encontrarse en Aparicio et al. (1988) y Kirsch (1991).

De esta manera se obtuvieron los valores de índice de cristalinidad de la illita (IC) de Kubler (1968), índice de Weaver (1960), politipo de moscovita, índice de paragonización, b_0 , ... etc. Para la determinación del b_0 se utilizaron muestras cortadas perpendicularmente a la esquistosidad, aunque en algunos casos no pudo determinarse.

En la Fig. 1 se indica la localización de las muestras y su distribución en las diferentes unidades estratigráficas. En la Tabla 1 se describen las paragénesis encontradas y los parámetros descritos anteriormente.

PARAMETROS METAMORFICOS

El diagrama de Esquevín (1969) para la totalidad de las muestras (Fig. 2), indica que la mayor concentración de valores de IC corresponde a facies epizonales en rocas del Carbonífero, en contraste con el Devónico cuyos valores se sitúan mayoritariamente en los campos anquizonal y diagenético.

Si tenemos en cuenta los valores medios se comprueba que el Carbonífero presenta valores de

IC (3,91) sensiblemente inferiores al Devónico (5,47).

Dentro del Carbonífero, la distinción entre pizarras afectadas por el metamorfismo de contacto (mosqueadas) y las no afectadas resulta llamativa, así se puede observar en la Fig. 2 unos valores medios de IC, para las rocas mosqueadas de 2,88 en contraste con el 3,91 para las no mosqueadas, determinando una mayor intensidad del metamorfismo de contacto en las rocas carboníferas en comparación con el metamorfismo regional que las afecta.

En conjunto (excluyendo las muestras con fenómenos de contacto) se manifiesta la mayor intensidad metamórfica del Carbonífero en comparación con el Devónico, mostrando una inversión metamórfica entre materiales superpuestos estratigráficamente.

De las dos lineaciones carboníferas estudiadas, la correspondiente a la cuenca de Peñarroya-Pueblonuevo presenta unos valores de IC sensiblemente superiores a los de la lineación de Los Pedroches, con valores medios de IC pasando de 7,18 a 3,69 respectivamente.

En el Devónico una situación similar se encuentra entre las lineaciones que se sitúan próximas al eje del batolito de Los Pedroches y el Devónico correspondiente al sinclinal de Almadén; alejado, al menos en superficie, de intrusiones masivas de rocas plutónicas. En este caso la diferencia en los valores medios varía de 5,47 a 7,8 respectivamente.

Si analizamos conjuntamente estos datos con los valores medios del IC en las muestras del paleozoico inferior (Tabla 1), que se sitúan en 5,10, resultan inferiores a los del Carbonífero de Peñarroya-Pueblonuevo y Devónico de Almadén pero superiores a los obtenidos en el Devónico-Carbonífero asociado al batolito de Los Pedroches, indicando igualmente una inversión de la intensidad metamórfica entre estos últimos materiales y el paleozoico inferior.

Esta situación se refleja positivamente en la Fig. 2 en la que las rocas epizonales corresponden casi en su totalidad al Carbonífero constituido

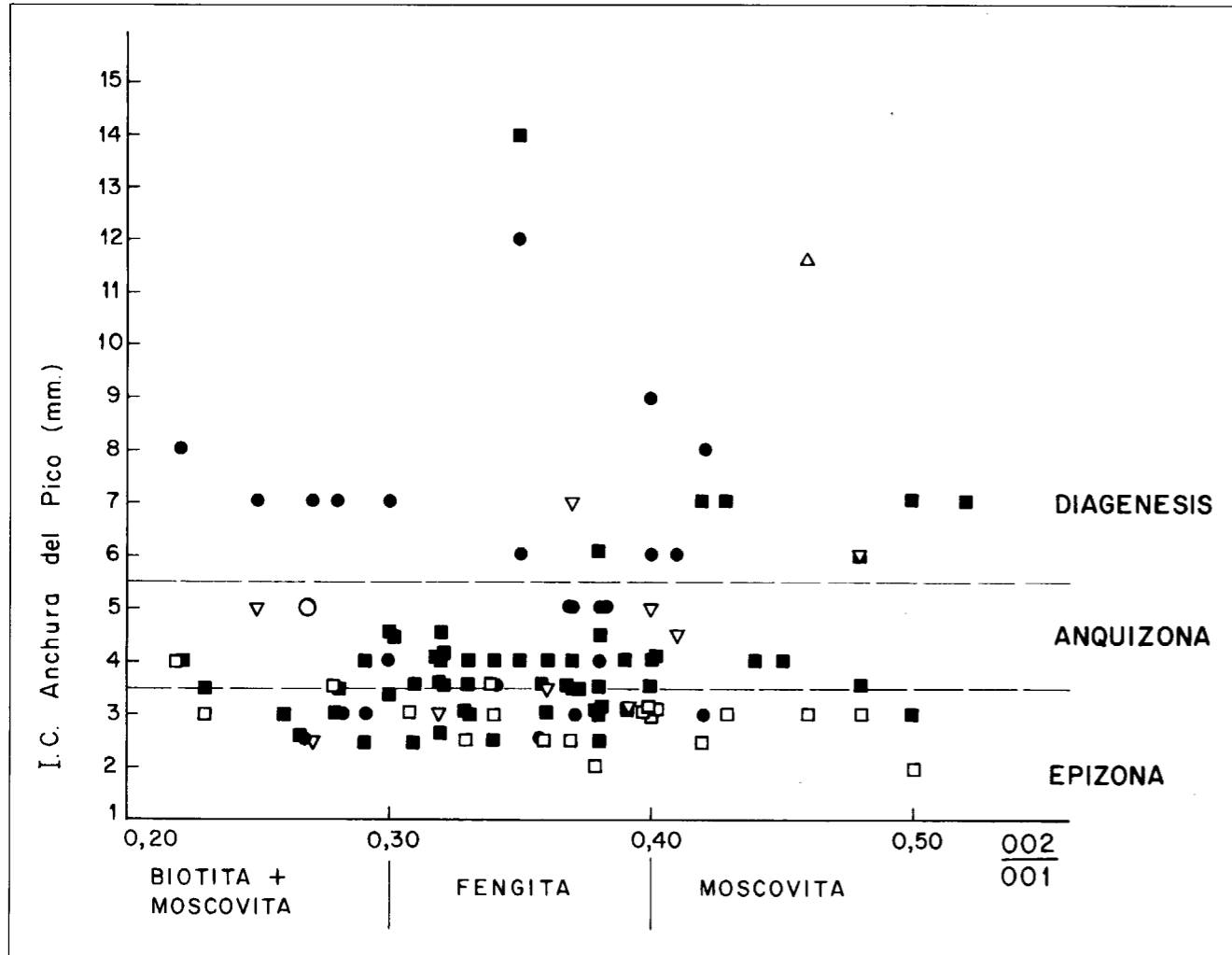


Fig. 2.- Diagrama de Esquevin (1969) con la variación del índice de cristalinidad de la ilita (IC), para la totalidad de las muestras estudiadas.

○ Cámbrico, ▽ Ordovícico, Δ Silúrico, ● Devónico, ■ Pizarras Carbonífero, □ Corneanas Carbonífero.

La determinación del b_0 como un factor indicativo de la presión a que han estado sometidos los materiales metamórficos fue descrito por Sassi y Scolari (1974).

Los valores obtenidos para los materiales carboníferos y devónicos estudiados (Tabla 1) son característicos de metamorfismos de baja presión (BP), observándose que son coincidentes con los de otras áreas metamórficas de características análogas analizadas por Sassi y Scolari (1974) (fig. 4). En el gráfico se exponen por separado los valores acumulados de b_0 en muestras del Devónico y del Carbonífero. Un ligero aumento de la presión parece apreciarse en el

Devónico con respecto al Carbonífero. Los valores medios de b_0 expresan esta diferencia (8,9912 en el Carbonífero a 8,9985 en el Devónico). Igualmente resulta significativo que los valores medios de b_0 en las pizarras mosqueadas (8,988) son algo inferiores a los encontrados en las no mosqueadas (8,9926) y que estos valores en conjunto sean inferiores a los encontrados en las muestras carboníferas de la cuenca Peñarroya-Pueblonuevo (8,9976) alejada ya de la influencia de intrusiones plutónicas.

La distribución superficial del b_0 para el área estudiada (Fig. 5), sin las muestras mosqueadas, muestra bajos valores en el área próxima al bato-

Tabla 1
Paragénesis y parámetros metamórficos en muestras del Paleozoico de Sierra Morena
Muestras del Carbonífero inferior afectadas por metamorfismo de contacto

Muestra	Feldespatos										Kubler	Weaver	060	00.10	004 002	3,74 2,58	Politipo Moscovita	Indice Moscovita	b_0	Temper.	
	Cuarzo	Filosil.	K	Ca-Na	Otros	Mica	Caolinit.	Clorit.	Esmect.	Interest.											
20B	21	74	5	-	-	12	-	88	-	-	Bi	-	-	-	-	-	-	-	-	360	
26	27	73	-	-	-	60	40	-	-	-	-	2,5	4	1,497	1,995	0,42	0,51	100%2MI	-	8,982	200-300
28	15	85	-	-	-	88	-	-	-	I-E 12	-	3	5,5	1,500	1,995	0,48	0,45	100%2MI	-	-	280
32	25	75	-	-	-	70	-	-	-	Cl-V 30	-	3,5	4,9	1,501	1,995	0,34	0,42	100%2MI	-	-	200
39	28	72	-	-	-	100	-	-	-	-	-	3	8,1	1,498	2,000	0,46	0,40	100%2MI	-	8,988	<510
41A	30	70	-	-	-	90	-	-	-	Cl-V 10	Bi	2,5	6,3	1,496	1,990	0,33	0,52	100%2MI	0,25	-	360
43	19	81	-	-	-	100	-	-	-	-	Bi And	4	3,5	1,499	1,989	0,22	0,39	100%2MI	0,30	-	<510
50	18	82	-	-	-	86	-	-	-	Cl-V 14	Bi And	3	5,2	1,499	1,993	0,40	0,44	100%2MI	-	8,994	<510
55	22	72	-	6	-	65	-	35	-	-	Bi And	2	3,4	1,498	1,995	0,50	0,38	100%2MI	-	8,988	<510
63	16	84	-	-	-	84	-	16	-	Cl-V indic	-	3	2,3	1,498	1,999	0,34	0,48	100%2MI	-	8,994	275
64	27	73	-	indic	-	95	-	-	-	Cl-E 5	Bi And	3,5	3	1,499	1,995	0,28	0,56	100%2MI	-	-	<510
68	30	70	-	-	-	82	-	-	-	Cl-V 8	Cl-V 10	3	5,4	1,498	1,994	0,40	0,55	100%2MI	-	8,988	230
69	42	53	-	5	-	73	-	10	12	Cl-V 5	-	3	4,7	1,498	1,993	0,43	0,53	100%2MI	-	-	300
81	26	69	-	5	-	55	-	20	-	Cl-V 25	Bi	2	5,4	1,498	1,995	0,38	0,46	100%2MI	-	8,982	360
84	23	77	-	indic	-	65	-	25	-	Cl-V 10	-	3	5,1	1,498	1,995	0,23	0,55	100%2MI	-	8,988	275
99	20	80	-	indic	-	70	-	-	-	Cl-V 30	Bi	2,5	6,6	1,498	1,996	0,36	0,52	100%2MI	-	8,988	360
100	23	72	-	5	-	93	-	-	-	Cl-V 7	Bi	2,5	5,7	1,498	1,993	0,37	0,48	100%2MI	-	8,988	360
111	12	88	-	indic	-	94	-	-	-	Cl-V 6	Bi	3	5,7	1,498	1,994	0,40	0,40	100%2MI	-	8,988	360

Tabla 1
Paragénesis y parámetros metamórficos en muestras del Paleozoico de Sierra Morena
Muestras del Carbonífero (Westfaliense B) de la cuenca Peñarroya-Pueblonuevo

Muestra	Feldespatos										Kubler	Weaver	060	00.10	004 002	3,74 2,58	Politipo Moscovita	Indice Moscovita	b_0	Temper.	
	Cuarzo	Filosil.	K	Ca-Na	Otros	Mica	Caolinit.	Clorit.	Esmect.	Interest.											
74	12	82	-	6	-	80	-	-	-	Cl-V 20	-	7	2	1,500	1,993	0,52	0,36	100%2MI	-	9,000	275
75	19	81	-	indic	-	75	-	-	-	Cl-V 20	I-E 5	7	1,9	1,500	1,995	0,43	0,43	100%2MI	-	9,000	180
76	16	77	-	7	-	74	-	26	-	-	-	7	1,89	1,499	1,995	0,50	0,44	100%2MI	-	8,994	300
89	20	75	-	5	-	84	-	11	-	Cl-V 5	-	7	2,1	1,500	1,991	0,42	0,48	100%2MI	0,20	9,000	275
90	15	85	-	indic	-	77	-	6	-	Cl-V 17	-	6	2,2	1,499	1,997	0,48	0,33	100%2MI	-	8,994	275
91	17	83	-	-	-	82	18	-	-	-	-	6	2,1	1,500	1,998	0,38	0,39	100%2MI	-	-	200
92	21	79	-	-	-	85	5	-	-	E 10	-	14	-	1,497	1,995	0,35	0,36	100%2MI	-	-	200
107	23	71	-	6	-	67	-	18	-	Cl-V 15	-	3,5	3,2	1,499	1,995	0,28	0,45	100%2MI	-	-	275

Tabla 1

Paragénesis y parámetros metamórficos en muestras del Paleozoico de Sierra Morena
Muestras del Devónico

Muestra	Feldespatos															b ₀	Temper.				
	Cuarzo	Filosil.	K	Ca-Na	Otros	Mica	Caolinit.	Clorit.	Esmect.	Interestr.	Otros	Kubler	Weaver	060	00.10			004 002	3,74 2,58	Politipo Moscovita	Indice Moscovita
8	8	92	-	-	-	55	6	10	-	-	Pirofil. 29	5	3,3	1,499	1,998	0,37	0,45	100%2MI	-	-	320
46	19	76	-	5	-	95	-	-	-	Cl-V 5	-	3	6,5	1,501	1,995	0,42	0,46	100%2MI	-	9,006	360
47	31	69	-	indic	-	65	-	35	-	-	-	2,5	6,5	1,501	1,993	0,27	0,52	100%2MI	-	9,006	300
53	15	85	-	-	-	82	-	-	-	-	Pirofil. 18	6	2,4	1,496	1,996	0,40	0,34	100%2MI	-	-	225
58	28	72	-	indic	-	92	-	-	-	Cl-V 8	-	6	4,8	1,500	1,998	0,41	0,44	100%2MI	-	9,000	275
59	18	82	-	-	-	88	-	-	-	Cl-E 12	-	4	2,8	1,498	1,994	0,38	0,36	100%2MI	-	8,994	230
60	19	76	5	-	-	100	-	-	-	-	-	7	1,7	1,498	1,995	0,27	0,37	100%2MI	-	8,988	250
72	10	90	-	-	-	100	-	-	-	-	-	6	2,5	1,501	1,995	0,35	0,40	100%2MI	-	9,006	190
73	11	84	-	5	-	95	-	-	-	Cl-V 5	-	5	2,4	1,501	1,996	0,38	0,33	100%2MI	-	9,006	275
77	20	74	-	6	-	78	-	8	-	Cl-V 14	-	2,5	5,2	1,499	1,999	0,36	0,42	100%2MI	-	-	275
78	17	83	-	indic	-	92	-	-	-	Cl-V 8	-	3	4,5	1,501	1,993	0,37	0,42	100%2MI	-	9,006	275
79	27	73	-	-	-	100	-	-	-	-	-	4	3,4	1,497	1,998	0,30	0,40	100%2MI	-	-	200
87	18	82	-	-	-	71	-	-	-	Cl-V 8	Pirofil. 21	5	2,3	1,495	1,995	0,37	0,42	100%2MI	-	-	275
88	25	71	-	4	-	84	-	-	-	Cl-V 16	-	3,5	4,5	1,500	1,997	0,34	0,37	100%2MI	-	9,000	275
93	20	80	-	-	-	95	-	-	-	Cl-V 5	-	5	2,4	1,489	1,995	0,38	0,50	100%2MI	-	9,024	225
94	6	94	-	-	-	87	-	-	-	Cl-E 13	Cl-V indic	11,6	3,8	1,506	1,987	0,46	0,49	100%2MI	0,45	-	230
105	22	78	indic	indic	-	65	-	22	-	Cl-V 13	-	3	7,2	1,499	1,998	0,28	0,50	100%2MI	-	-	275
106	9	91	-	-	-	78	6	-	-	-	Pirofil. 16	3	6,7	1,496	1,992	0,29	0,45	100%2MI	0,10	-	300
115	6	94	-	-	-	55	14	-	-	-	Pirofil. 31	12	1,8	1,499	1,995	0,35	-	100%2MI	-	-	225
116	7	93	-	-	-	78	indic	-	-	-	Pirofil. 22	7	1,7	1,496	1,993	0,28	0,47	100%2MI	-	8,976	225

Tabla 1

Paragénesis y parámetros metamórficos en muestras del Paleozoico de Sierra Morena
Muestras del Devónico de Almadén

Muestra	Feldespatos															b ₀	Temper.				
	Cuarzo	Filosil.	K	Ca-Na	Otros	Mica	Caolinit.	Clorit.	Esmect.	Interestr.	Otros	Kubler	Weaver	060	00.10			004 002	3,74 2,58	Politipo Moscovita	Indice Moscovita
101	17	83	-	-	-	79	5	-	-	-	Pirof. 16	7	2	1,492	1,995	0,25	0,36	100%2MI	-	-	225
102	14	86	-	-	-	100	-	-	-	-	-	8	1,8	1,498	1,997	0,42	0,32	90%2M	-	8,988	200
103	15	85	-	-	-	92	-	-	-	Cl-V indic	Pirof. 8	7	2	1,494	1,995	0,30	0,32	90%2M	-	-	225
104	11	89	-	-	-	100	indic	-	-	-	-	9	1,6	1,496	1,995	0,40	0,34	100%2M	-	-	200
118	5	95	-	-	-	76	5	-	-	-	Pirof. 19	8	1,8	1,493	1,995	0,22	0,45	100%2M	-	8,958	225

Tabla 1

Paragénesis y parámetros metamórficos en muestras del Paleozoico de Sierra Morena
Muestras del Paleozoico Inferior

Muestra	Feldespatos															b ₀	Temper.				
	Cuarzo	Filosil.	K	Ca-Na	Otros	Mica	Caolinit.	Clorit.	Esmect.	Interestr.	Otros	Kubler	Weaver	060	00.10			004 002	3,74 2,58	Politipo Moscovita	Indice Moscovita
9	21	79	indic	-	-	82	-	12	-	Cl-V 6	-	4,5	3,6	1,497	1,997	0,41	0,48	100%2MI	-	8,982	275
21	23	70	7	-	-	84	6	-	-	-	-	2,5	5,4	1,500	1,989	0,27	0,54	100%2MI	0,30	-	250
23	13	87	-	-	-	84	-	16	-	-	-	2,9	5	1,500	1,989	0,32	0,41	100%2MI	0,30	-	300
35	18	82	-	-	-	74	-	-	-	Cl-V 26	-	5	2,5	1,499	1,996	0,25	0,35	100%2MI	-	8,994	225
36	9	91	-	-	-	82	-	18	-	-	-	7	2	1,502	2,000	0,37	0,32	90%2MI	-	9,012	200
42	31	62	7	-	-	85	-	15	-	-	-	3,5	3,8	1,497	1,998	0,36	0,43	100%2MI	-	-	300
54	16	84	-	indic	-	89	-	-	-	Verm 11	-	6	2,2	1,499	1,991	0,48	0,42	100%2MI	0,20	8,994	275
67	33	67	-	-	-	100	-	-	-	-	-	5	2,2	1,497	1,989	0,40	0,38	100%2MI	0,30	-	200
109	30	70	-	-	-	88	12	-	-	-	-	3,2	5,4	1,496	1,995	0,39	0,49	100%2MI	-	-	275
117	16	76	-	5	-	72	-	28	-	-	-	5	2,9	1,502	1,999	0,27	0,48	11%2MI	-	9,012	300

Interestratificados: Cl-V = Clorita-Vermiculita Cl-E = Clorita-Esmectita I-E = Ilita-Esmectita

- Bi = Biotita
- And = Andalucita
- Pir = Pirofilita
- Verm = Vermiculita

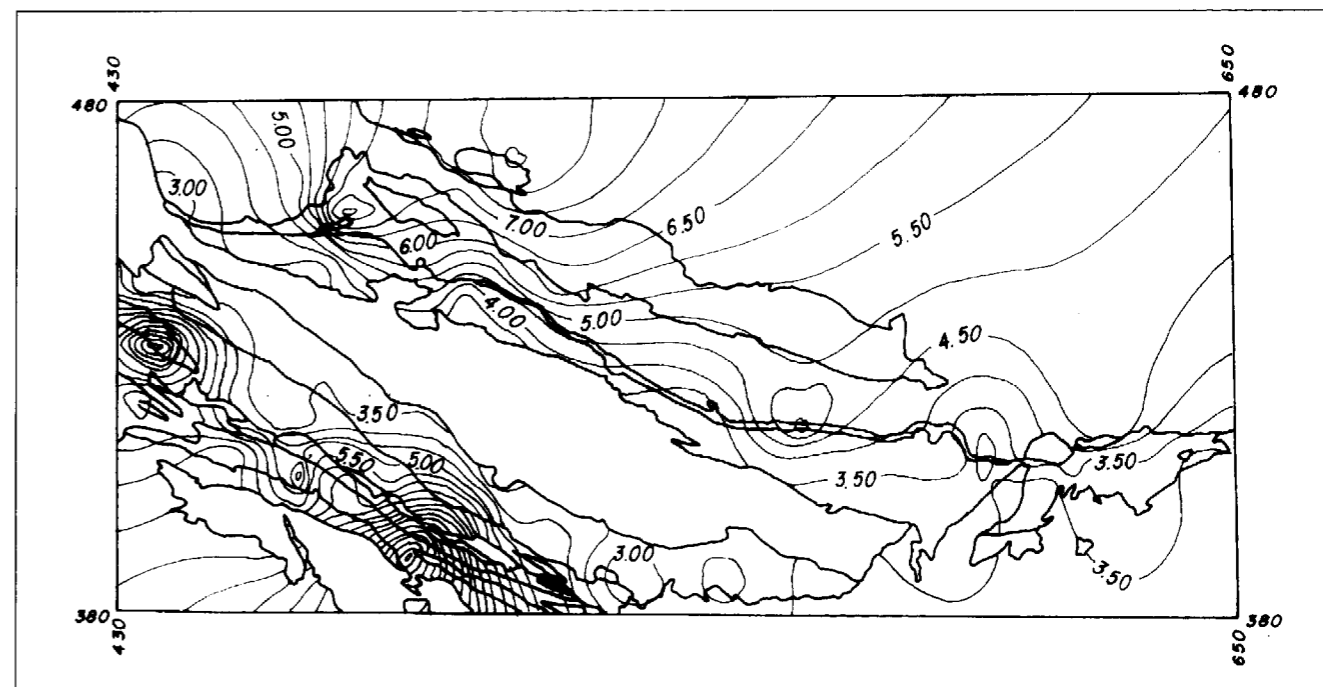
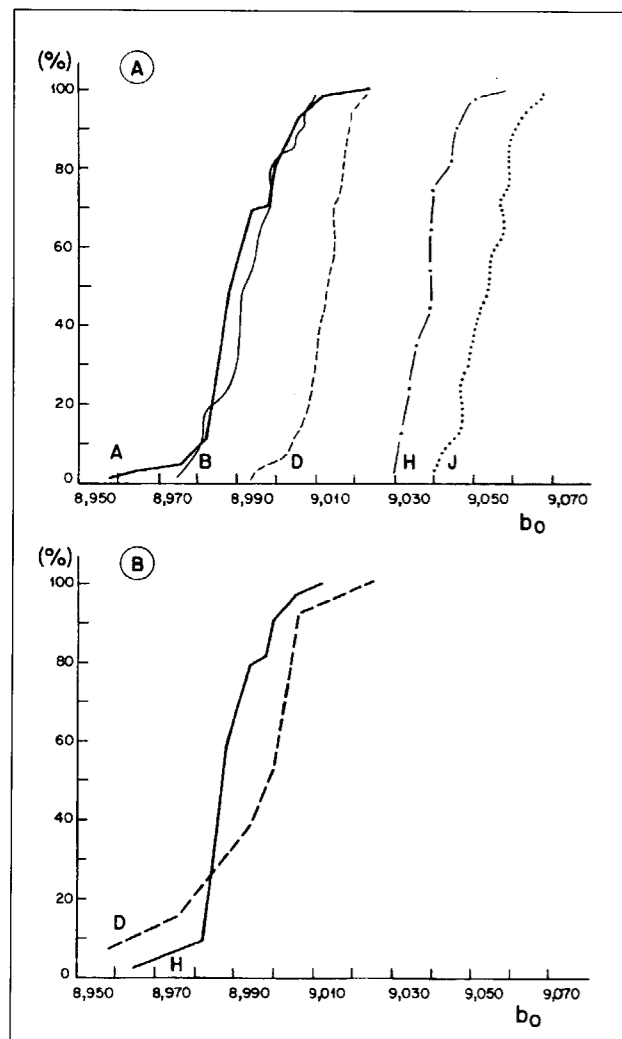


Fig. 3.- Esquema de distribución superficial del IC en el área estudiada.

Fig. 4.- Curvas acumuladas del b_o .

a) Curva total de muestras del Carbonífero y Devónico del sector estudiado en comparación con otras áreas, según Sassi y Scolari (1974). A = (Sierra Morena), B = Bossot (Baja Presión), D = Ryoke (Baja Presión - Presión Intermedia), H = Otago (Presión Intermedia), J = Sanbagawa (Alta Presión).

b) Curvas acumuladas para el Devónico (D) y Carbonífero (H) del sector estudiado.

lito de Los Pedroches y en el Devónico de Almadén. Los máximos se sitúan según una banda al Sur del eje plutónico Pedroches y en el extremo NO del área estudiada.

La comparación de los esquemas de la Fig. 4, 5 pone de manifiesto una superposición entre los máximos y mínimos del b_o con los IC, es decir, las áreas con menor intensidad metamórfica reflejan mayores presiones, situación que puede ser

achacable, como ya se indicó anteriormente, a la perturbación producida en la evolución del metamorfismo regional por la intrusión de rocas plutónicas masivas.

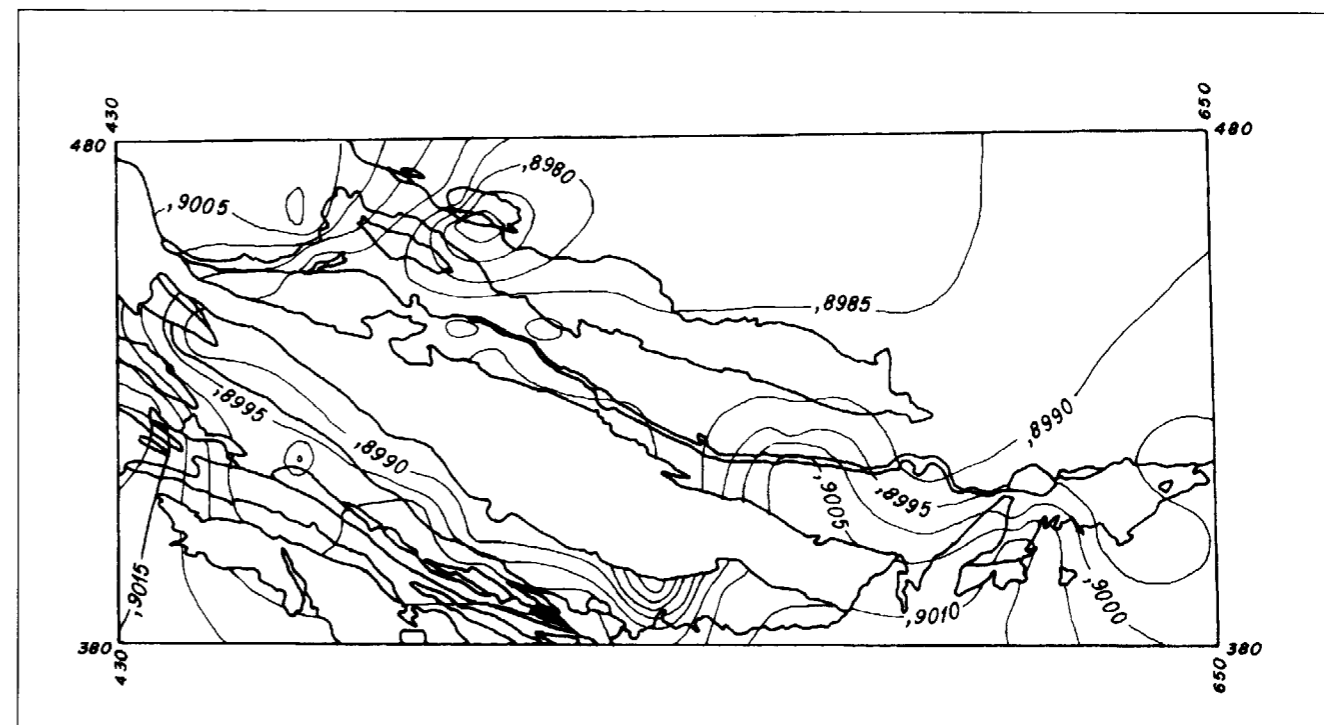
PARAGENESIS Y CONDICIONES DEL METAMORFISMO REGIONAL

De los datos recogidos y establecidos en la Tabla 1 se deduce que no existen diferencias entre las paragénesis del Devónico y del Carbonífero en cuanto a los términos que podemos encontrar en rocas no afectadas por metamorfismo de contacto.

La asociación mineral más frecuente es $Qz + Mo + Cl$ a la que frecuentemente se asocian interestratificados de Cl/V y feldspatos (Ab y FK). Menos frecuente es la aparición de pirofilita, vermiculita, caolinita e interestratificados de Cl/E e I/E . La variedad de mica en casi todos los casos es 2M1 (100%) salvo en el Devónico de Almadén donde la variedad es 2M1 (90%). La variedad 2M1 indica para Frey (1987) que se alcanzan valores mínimos de 150° .

No se encuentra biotita por lo que no se debió alcanzar el límite inferior de estabilidad de este mineral (250° a 360°), ni tampoco el límite superior de estabilidad de la clorita (350°) (McMechan y Price 1982, McDowell y Elders 1980). En contraposición y en la zona de contacto de las rocas granodioríticas del plutón de Los Pedroches (Aparicio et al. 1977) las pizarras desarrollan biotita y andalucita en paragénesis de corneanas de albíta-epidota con temperaturas próximas a los 500° (Winkler 1974). Cuarzo-ilita-clorita es una asociación estable a 300° y 2Kb (Velde 1964). La pirofilita se mantiene estable entre $200-320^\circ$ y 2Kb (Bucher y Frey 1994, Velinov et al. 1983, Papezik Keats 1976, Frey 1987) y en nuestro caso, no aparece nunca asociada a clorita, por lo que el cloritoide no está presente en estas rocas, aunque sí se encuentra pirofilita asociada a caolinita, indicando márgenes de estabilidad inferiores a 320° y 3 ± 1 Kb (Theye y Siedel 1993).

Algunos interestratificados de Cl/V se mantienen hasta los 300° pero asociados a I/E no superan los 275° (Weaver et al. 1984). Las muestras con esmectita son escasas pero las paragénesis que

Fig. 5.- Distribución superficial del b_o en el área de Sierra Morena.

la incluyen corresponden a muestras que no han estado sometidas a temperaturas superiores a $200^\circ C$ (Kristimansdóttir 1979, Yau et al. 1987). Los interestratificados de I/E tienen un límite de estabilidad superior, de 280° a BP (Paradis et al. 1983).

El conjunto de las paragénesis encontradas se situarían así en un margen de condiciones entre 150 y 325° con presiones < 2 Kb. En la Tabla 1 se han expuesto de forma aproximada, teniendo en cuenta los límites de estabilidad de los minerales encontrados, las temperaturas que pueden reflejar estas asociaciones, dentro del ambiente de BP en el que nos encontramos. En algún caso se tomó como orientativa la intensidad del metamorfismo reflejada por el IC de la ilita.

El mapa de isotermas obtenido a partir de estos valores (Fig. 6), es pues sólo orientativo, pero expresa adecuadamente la variación de la intensidad metamórfica en el área estudiada. El mínimo térmico situado al Norte es coincidente con la posición del Devónico de Almadén mien-

tras que otros mínimos se sitúan sobre el Carbonífero de Peñarroya-Pueblonuevo. La isoterma de 260° situada en el área central limita el batolito de los Pedroches que está cortado al NO por un máximo $> 300^\circ$ junto a otros máximos que bordean el contacto norte del batolito.

En general se observa que las isotermas obtenidas se mueven entre valores muy próximos de $200-300^\circ$ y que estos límites se sitúan en valores anquizonales, con un cierto desfase respecto a lo indicado por los IC.

DISCUSION

El reconocimiento de un metamorfismo regional de bajo grado en las series Devónico-Carbonífero del sector Hespérico de Sierra Morena fue indicado por Sánchez Cela y Gabaldón (1977) y Orviz et al. (1976) aunque no establecen las características y condiciones del mismo. El principal problema de esta determinación surge de la super-

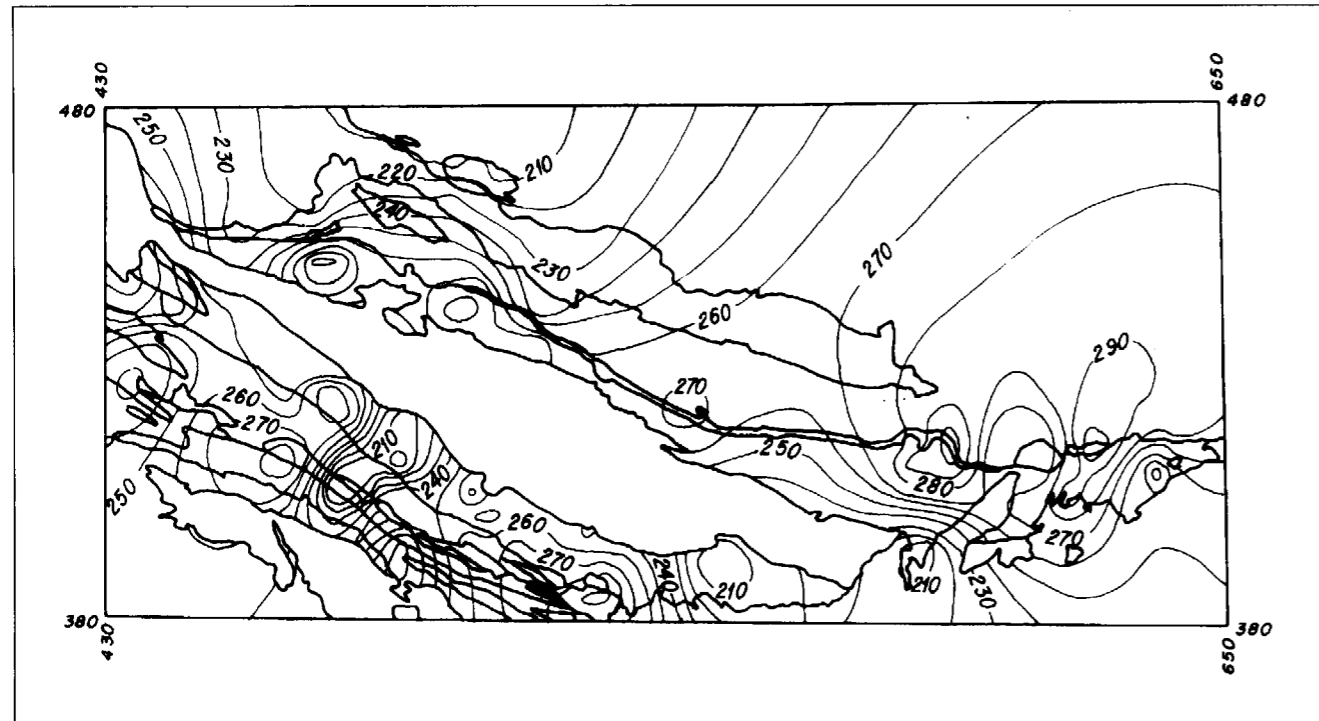


Fig. 6.- Isotermas deducidas de las paragénesis en las muestras analizadas.

posición del metamorfismo de contacto que al alcanzar mayor intensidad facilita la aparición de paragénesis específicas que enmascaran la exacta determinación del metamorfismo regional.

Un resultado llamativo radica en la diferencia encontrada entre la intensidad del metamorfismo en las secuencias Devónico-Carboníferas próximas al batolito central (Pedroches) y las más alejadas. Los IC muestran ya esta diferencia entre valores manifiestamente epizonales, en el área cercana al batolito, y anquizonales en el resto. A su vez estos valores de las series Devónico-Carboníferas más alejadas, se aproximan más a los valores determinados en muestras del paleozoico inferior analizadas, aunque siguen siendo más altas (menor intensidad metamórfica) que las de las próximas a los macizos graníticos. Como se indicó anteriormente las muestras con metamorfismo de contacto reflejan valores de IC muy bajos, aunque en ocasiones similares al de algunas muestras que aparentemente no han experimentado fenómenos de contacto, por lo que no es rechazable que la influencia de las

rocas intrusivas continúe hacia zonas más alejadas del batolito a través de apófisis próximas a la superficie que causarían una disminución del IC. De hecho la presencia de interestratificados de CI/V en toda la zona estudiada es un síntoma de este aumento térmico producido por intrusiones plutónicas (Merriman y Roberts 1985).

También interesa resaltar que no haya variación entre las características metamórficas del Devónico y Carbonífero presentando paragénesis idénticas, aunque pueden encontrarse causas de esta situación en la difícil delimitación de ambas series apreciable en algunos sectores del área estudiada. A este respecto, trabajos realizados en otras áreas Devónico-Carboníferas (García et al. 1992) ya explicaron esta situación atribuyéndola a la presencia de granitoides masivos no visibles en superficies.

El parámetro b_0 delimita un campo de bajas presiones para el área considerada, lo que está de acuerdo con las paragénesis encontradas que corresponden a unas presiones inferiores a 2Kb. Por otro lado se observa que los valores de b_0 de

los materiales devónicos son ligeramente inferiores a los del carbonífero, dato que estaría de acuerdo con su posición en la columna sedimentaria.

Algo distinto se manifiesta en el área metamórfica Devónica de Almadén en donde Saupé et al. (1977), describen un metamorfismo de diagénesis profunda y anquizonal. Este área define un aumento del IC y una disminución del b_0 y temperatura en contraste con las otras áreas devónicas del sector. La presencia frecuente de pirofilita es una situación casi específica de este área de Almadén, aunque Sánchez Cela y Aparicio (1969) citan abundancia de pirofilita en las rocas carboníferas del límite oriental del batolito de Los Pedroches.

En comparación con el metamorfismo regional de la Faja Pirítica, descrito por Aparicio et al. (1996), se observa que las paragénesis son similares tanto para el Devónico como para el Carbonífero, siendo igualmente constante la presencia de interestratificados de CI/V. Las condiciones de P y T resultan también muy próximas.

Como síntesis podemos así destacar la existencia de un fondo metamórfico regional, de muy bajo grado, que afectaría al conjunto de los materiales del sector, y sobre el que se superpone, un episodio térmico, asociado al magmatismo de Los Pedroches.

AGRADECIMIENTOS

A nuestros amigos y compañeros, A. Vilorio, M. Castillejo, M.C. Sendra, J. Arroyo, M.T. Montero por su ayuda en la elaboración del trabajo.

REFERENCIAS

- APARICIO A., BRELL J.M., GARCIA R. y GUARAS B. (1966). El metamorfismo hercínico de la faja pirítica (provincias de Sevilla y Huelva). *Rev. Acad. Ciencias Zaragoza*. En prensa.
- APARICIO A., BARRERA J.L., CASQUET C., PEINADO M. y TINAO J.M. (1977). Caracterización geodinámica del plutonismo postmetamórfico del SO del Macizo Hespérico. *Studia Geologica*, 12, 9-39.

APARICIO A., BRELL J.M. y DOVAL M. (1988). El metamorfismo de los afloramientos paleozoicos de la Sierra de Rata, Albarracín, Menera y Ventosa en la Cordillera Ibérica (Provincias de Guadalajara y Teruel). *Bol. Geol. Min.* 99, 847-854.

BUCHER K. y FREY M. (1994). *Petrogenesis of metamorphic rocks*, 6th edition. Springer Verlag. Berlin, 318 pp

CASTELLO R. y ORVIZ F. (1976). *Memoria Hoja Geológica 884. La Carolina*. ITGE. Madrid, 45 pp.

ESQUEVIN J. (1969). Influence de la composition des illites sur leur cristallinité. *Bull. Centre. Rech. Pau, SNPA* 3, 147-154.

FREY M. (1987). Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks. En: *Low Temperature metamorphism*. Frey M. (ed.). Blackie ed. London, 9-57.

GABALDON V., GARROTE A., QUESADA C. (1985a). El Carbonífero Inferior del Norte de la zona de Ossa Morena (SO de España). *XI Congrès Intern. de Stratigraphie et de Geologie du Carbonifere*. Madrid 1983. *Compte Rendu*, 3, 173-186.

GABALDON V., GARROTE A., QUESADA C. (1985b). Geología del Carbonífero Inferior del Norte de la zona de Ossa Morena. Introducción a la excursión. *5ª Reunión Grupo Ossa Morena. Temas Geol-Min* 1985, 7, 101-137.

GARCIA R., BRELL J.M., APARICIO A. (1992). El metamorfismo del Paleozoico de la isla de Menorca (Islas Baleares). *Bol. Geol. Min.*, 103, 564-569.

KIRSCH H.J. (1991). Illite crystallinity: recomendations on sample preparation X-ray diffraction settings and interlaboratory samples. *J. Metamorphic Geology*, 9, 665-670.

KRISTMANSDO'TTIR H. (1979). Alteration of basaltic rocks by hidrothermal activity at 100-300°C. En: *International clay conference*. Morland M.M. y Farmen V.C. (eds.). Elsevier N. York, 410 pp.

KUBLER B. (1968). Evaluation quantitative de metamorphisme par la cristallinité de l'illite. Etat des progrès réalisés ces dernières années. *Bull. Centre Rech. Pau SNPA*, 2, 385-397.

MCDOWELL S.D., ELDERS W.A. (1980). Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore 1, Salton Sea geothermal field, California, USA. *Contr. Mineral. Petrol.* 74, 293-310.

MCMECHAN M.E., PRICE R.A. (1982). Superimposed low-grade metamorphism in the Mount Fisher area southeastern British Columbia implication for the East Kootenay Orogeny. *Can. J. Earth Sci.* 19, 476-489.

MERRIMAN R.J. and ROBERTS B. (1985). A survey of white mica crystallinity and polytypes in pelitic rocks of Snowdonia and Uyn, North Wales. *Min. Mag.* 49, 305-319.

MIRA M., RODRIGUEZ PEVIDA L.S., ORTEGA GIRONES E. (1987). Memoria Mapa Geológico 834. San Benito ITGE. Madrid, 51 pp.

ORVIZ F., CASTELLO R., MARTINEZ DEL OLMO W. (1976). Memoria Mapa Geológico 885. Santisteban del Puerto. ITGE. Madrid. 41 pp.

PAPEZIK V.S., KEATS H.F. (1976). Diaspore in pyrophyllite deposit on the Avalon Peninsula, New foundland. *Can. Min.* 14, 442-449.

PARADIS S., VELDE B., NICOT E. (1983). Chloritoid-Pyrophyllite-Rectorite facies rocks from Brittany, France. *Contr. Min. Petr.* 83, 342-347.

PEREZ LORENTE F. (1979). *Geología de la zona Ossa-Morena al Norte de Córdoba (Pozoblanco-Bélmez-Villaviciosa de Córdoba)*. Tesis Doctoral. Univ. Granada, 281, 1-340.

PEREZ LORENTE F., GABALDON V. (1983). The Lower Carboniferous of the Pedroches Valley. *X Congreso Internacional de Stratigraphie et de Geologie du Carbonifere*. Field Trip D, 23-31. Madrid.

SANCHEZ CELA V., APARICIO A. (1969). Estudio petrológico de los afloramientos graníticos de Santa Elena y Linares (Jaén). *Bol. Geol. Min.* 80, 344-351.

SANCHEZ CELA V., GABALDON V. (1977). Memoria Mapa Geológico 831. Zalamea de La Serena. ITGE. Madrid, 28 pp.

SASSI F.P., SCOLARI A. (1974). The b_0 value of the potassic white micas as a barometric indicator in low-grade metamorphism of pelitic schists. *Contr. Min. Petrol.* 45, 143-152.

SAUPE F., DUNOYER DE SEGONZAÇ G., TEICHMÜLLER M. (1977). Etude du metamorphisme regional dans la zone d'Almaden (Province de Ciudad Real, Espagne) par la cristallinité de l'illite at par le puvoir reflecteur de la matiere organique. *Sci Terre* (Nancy), 21, 251-269.

THEYE T., SIEDEL H. (1993). Chloritoid, carpholite and sudoite in very low-grade metamorphic rocks of the Wippra Metamorphic zone (Harz, Germany). *N. Jb. Miner. Mh.* 2, 13-96.

VELDE B. (1964). Low grade metamorphic of micas in pelitic rocks. *Carnegie Inst. wash. year 1963-1964*, b, 63, 142-147.

VELINOV I., GOROVA M., TCHOLAKOV P., TCHOUNER D., IANEA I. (1983). Secondary quartzites developed after Cretaceous volcanic from Zaza Zone, Cuba. *Geológica Balcánica*, 13, 6, 53-68.

WEAVER C.E. (1960). Possible uses of clay minerals in search for oil. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 44, 1505-1518.

WEAVER C.E., HIGHSMITH B., WAMPLER J.M. (1984). Chlorite. En: *Shale-slate metamorphism in Southern Appalachians*. C.E. Weaver (ed.). Developmente in Petrology 10. Elsevier, 99-138.

WINKLER G.F. (1974). *Petrogenesis of Metamorphic rocks*. Springer-Verlag. New York. 320 pp.

YAU Y., PEACOR D.R., MCDOWELL S.D. (1987). Smectite to illite reactions in Salton Sea shales: A transmission and analytical electron microscopy study. *Journal of Sed. Petr.* 57, 335-342.

Original recibido: Septiembre 1996.
Original aceptado: Noviembre 1996.

CARACTERIZACION MINERALOGICA DE LA ERITRINA DE BURGUILLOS DEL CERRO (BADAJOZ)

Por A. LA IGLESIA (*), M. J. LISO (**) y M. A. RODRIGUEZ (**)

RESUMEN

Se caracteriza el mineral eritrina (arseniato de cobalto hidratado) procedente de Burguillos del Cerro (Badajoz), estudiándolo mediante análisis químico, espectroscopía infrarroja, difracción de rayos X y análisis térmico.

Palabras clave: Eritrina, Arseniato de cobalto, Burguillos del Cerro, Badajoz, España.

ABSTRACT

The mineral Erythrite (hydrated cobalt arseniate) from Burguillos del Cerro (Badajoz) is characterized by the following techniques: chemical analysis, infrared spectroscopy, X-ray diffraction and thermal analysis.

Key words: Erythrite, Cobalt arseniate, Burguillos del Cerro, Badajoz, Spain.

INTRODUCCION

La eritrina, $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, es un mineral de origen secundario que aparece comunmente asociado a annabergita, $\text{Ni}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, recubriendo a los minerales primarios de cobalto y níquel. Por sus vivos colores, a estos minerales se les conoce como flores de cobalto y flores de níquel. Eritrina, annabergita y koettingita, $\text{Zn}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, forman una serie isomorfa completa. Los tres minerales anteriores junto con simplesita, $\text{Fe}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ y hoernesita, $\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, son isoestructurales con vivianita, $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, y forman parte de su grupo.

Calderón (1910) cita la presencia de eritrina en las siguientes localidades españolas: Peña Mellera (Asturias), Villamanín (León), Gistain (Huesca), Sierra de Filabres (Almería), El Cerro (Huelva), Molvizar y Motril (Granada). Sos Baynat (1962) la cita en Burguillos del Cerro (Badajoz), Galán y

Mirete (1979) citan su presencia en las anteriores localidades, además de: Cármenes (León) y Huercal-Overa (Almería).

El mineral objeto de nuestro estudio se ha encontrado en Burguillos del Cerro (Badajoz), muy próximo a la mina "Monchi", acceso al Km. 14 de la carretera comarcal Zafra-Villanueva. Aparece en el contacto de las calizas cámbricas de la Sierra del Cordel con las rocas graníticas del batolito de Burguillos del Cerro, asociado a magnetita, cobaltita, grosularia, ilmenita y lollingita.

MATERIAL Y METODOS EXPERIMENTALES

El mineral estudiado se presenta en pequeños cristales aciculares, estriados verticalmente, de unos 3 mm de longitud, agrupados en rosetas de brillo nacarado y color rosa fuerte, que al calentarlo pasa a azul intenso. La densidad determinada con el picnómetro es de $3,08 \text{ gcm}^{-3}$. Es fácilmente soluble en ácido clorhídrico al 10%, dando una disolución rojo-rosada.

Los análisis químicos se han realizado por espec-

(*) Instituto de Geología Económica. CSIC. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

(**) Area de Mineralogía. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura. Badajoz.

troscopía de absorción atómica en un aparato Perkin-Elmer, modelo 2280, utilizando un generador de hidruros en la determinación de arsénico. La disolución del mineral se llevó a cabo usando un reactor a presión a 120°C.

El diagrama de difracción de rayos X de la muestra se ha realizado en un difractómetro Philips, modelo PW1729, provisto de monocromador, utilizando radiación Cu K α y una velocidad de exploración de 1° por minuto.

El estudio de absorción en el infrarrojo se realizó en un equipo Midac Co, modelo FTIR, empleando la técnica de la pastilla de bromuro potásico.

El estudio térmico, Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) y termogravimetría (TG), se ha realizado en un aparato Netzsch, modelo 409, utilizando atmósfera oxidante y una velocidad de calentamiento de 10 grados centígrados por minuto.

OXIDO	%
As ₂ O ₅	38,37
CoO	36,90
FeO	0,28
ZnO	0,17
NiO	0,12
Ag ₂ O	0,10
H ₂ O	24,00

Tabla 1.- Análisis químico de la eritrina de Burguillos del Cerro (Badajoz).

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSION

Los resultados del análisis químico se presentan en la tabla 1. A partir de estos datos, se ha calculado para el mineral, la siguiente fórmula en base a 8 oxígenos.



En la tabla 2 se presentan los espaciados, índices de Miller e intensidades relativas de las reflexiones obtenidas del estudio por difracción de rayos X de la muestra. El diagrama de difracción de rayos X es similar al de la ficha 11-626 del fichero ICPDS, correspondiente a eritrina procedente de Bon Azzer, Marruecos. De acuerdo con esta ficha, el diagrama se ha ajustado a una estructura monoclinica con grupo espacial C 2/m, habiendo calculado los parámetros de celdilla a, b y c siguientes: 10,248 \pm 0,006, 13,420 \pm 0,008 y 4,756

d Å exp.	I/I ₀	hkl	d Å calc.
7.966	4	110	7.964
6.706	100	020	6.710
4.934	1	200	4.970
4.401	1	$\bar{1}11$	4.397
4.071	2	130	4.076
3.984	1	220	3.982
3.909	1	$\bar{2}01$	3.911
3.354	5	040	3.355
3.227	5	$\bar{1}31$	3.225
3.003	4	201	3.000
2.776	3	240	2.777
2.737	3	221	2.738
2.709	4	041	2.709
2.655	3	330	2.655
2.543	2	$\bar{3}31\bar{2}41$	2.540
2.462	2	$\bar{4}01$	2.462
2.327	4	$\bar{1}51$	2.325
2.238	3	060	2.237
2.082	3	350	2.082
1.958	2	$\bar{5}10$	1.958
1.772	1	$\bar{1}71$	1.773
1.678	6	080	1.677
1.601	1	062	1.602
1.496	1	371	1.497

Sistema monoclinico, grupo espacial C 2/m.
a=10.248, b=13.420, c=4.756, β =105.094°.

Tabla 2.- Datos de difracción de rayos X de la eritrina de Burguillos del Cerro (Badajoz).

\pm 0,006Å y ángulo β de 105,09 \pm 0,01 en perfecta concordancia con los de la ficha 11-626. Se ha calculado también el volumen de celdilla de 631,45Å³ y una densidad teórica de 3,150 g/cm³.

En la figura 1 se presenta el espectro infrarrojo de la eritrina de Burguillos del Cerro; en la zona de 1600 cm⁻¹ aparecen bandas de absorción debidas a las vibraciones de deformación del agua coordinada y, consecuentemente, en la región comprendida entre 3000-3700 cm⁻¹, aparece una banda amplia debida a los modos de tensión de dichas moléculas de agua. La fuerte banda de absorción en la región de 780-880 cm⁻¹, se debe a las vibraciones de tensión antisimétricas As-O-As, de la misma forma, la banda compleja que aparece entre los 400-600 cm⁻¹ se debe a vibraciones de deformación O-As-O. Estos resultados se ajustan perfectamente a los publicados por Moenke (1966) y Farmer (1974) para el mineral.

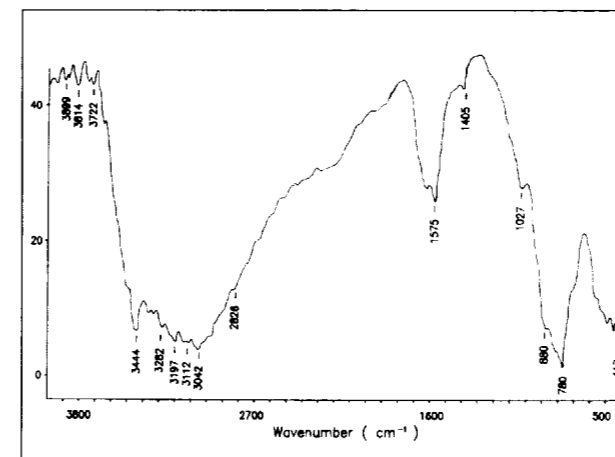


Figura 1.-Espectro de infrarrojo de la eritrina de Burguillos del Cerro

En la figura 2 se presentan los diagramas térmicos de la eritrina de Burguillos del Cerro. En la curva DSC aparecen dos efectos endotérmicos a las temperaturas de 205 y 275°C, debidos a la pérdida del agua de cristalización en dos etapas sucesivas. En la primera se pierden aproximadamente 6 moléculas de agua, según pone de manifiesto la relación de áreas de los dos endotérmicos, y se traduce en la curva TG por una caída brusca entre 180 y 240°C. A partir de esta temperatura, comienza una lenta y continua pérdida

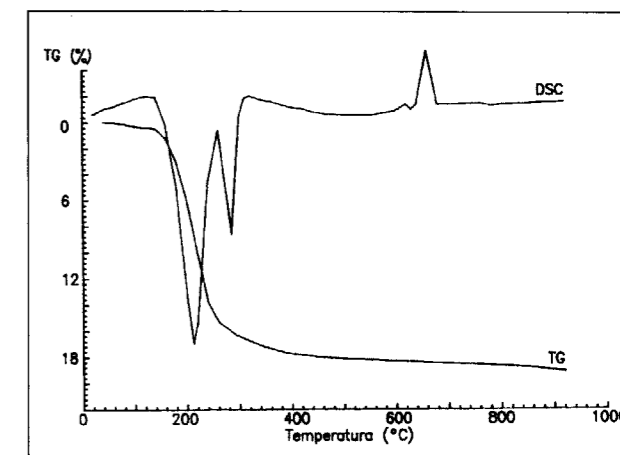


Figura 2.- Curvas de calorimetría diferencial de Barrido y termogravimetría de la eritrina de Burguillos del Cerro.

de peso que finaliza hacia los 800°C. Esta pérdida de peso se debe al efecto combinado de la pérdida de las dos moléculas de agua (endotérmico a 275°C) y a la ganancia de peso que se produce en la oxidación del material. El efecto exotérmico a 655°C se debe precisamente a la rápida oxidación de los cationes divalentes, según Taylor y Heyding (1958) el material se hace súbitamente incandescente al calentarlo a esa temperatura. En resumen, la muestra pierde un 18,7% de peso inicial a través del siguiente proceso:

Etapa 1; pérdida de 6 H₂O y formación del dihidrato a 205°C.

Etapa 2; pérdida de 2 H₂O a 275°C, comienzo de oxidación con exotérmico a 655°C.

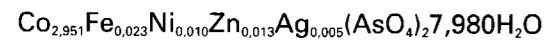
La temperatura del efecto exotérmico coincide con la obtenida por Polou (1955) y por Taylor y Heyding (1958) de 655-660°C. Precisamente este efecto exotérmico permite diferenciar fácilmente por análisis térmico eritrina de annabergita, ya que esta última presenta el exotérmico a 720°C.

CONCLUSIONES

Los resultados anteriores nos permiten concluir:

El análisis químico de la muestra indica que se trata de un arseniato de cobalto hidratado con una pequeña sustitución de cobalto por hierro,

cinc, níquel y plata en cantidades inferiores al 0,03 % cuya fórmula mineralógica en base a 8 oxígenos es:



El diagrama de rayos X de la muestra es similar al de la ficha 11-626 del fichero ICPDS, ajustándose a una estructura monoclinica con grupo especial C 2/m y parámetros $a=10,248 \pm 0,006$; $b=13,420 \pm 0,008$; $c=4,756 \pm 0,006\text{Å}$ y ángulo $\beta=105,09 \pm 0,01$. El volumen de la celdilla es de $631,45\text{Å}^3$, calculando una densidad teórica de $3,150 \text{gcm}^{-3}$, muy próxima a la obtenida por picnometría de $3,080 \text{gcm}^{-3}$.

El espectro de infrarrojo del mineral es semejante a los publicados por Moenke (1966) y Farmer (1974) para eritrina.

El estudio térmico demuestra que el mineral pierde las 8 moléculas de agua en dos etapas a

205 y 275°C, inmediatamente comienza la lenta oxidación de los grupos Co^{II} para dar Co^{III} . A 655°C se produce un efecto exotérmico a consecuencia de esta rápida oxidación.

REFERENCIAS

FARMER, V. C. (1974). The Infrared spectra of Minerals. Ed. Farmer.

GALAN, E., MIRETE, S. (1979). Introducción a los minerales de España. Ed. IGME.

MOENKE, H. (1966). Mineralspektrn. Akademie Verlag. Berlín.

POLOU, R. (1955). Caracteres thermiques des arsénates de la famille del érythrite $(\text{AsO}_4)_2\text{Co}_3\cdot 8\text{H}_2\text{O}$. C. R. Acad. Sci. Paris, 240, 24(2333-2336).

SOS BAYNAT, V. (1962). "Mineralogía de Extremadura". Bol. Geol. Min. LXXIII.

TAYLOR, J. B. and HEYDING, R. B. (1958). Arseniates of the transition metals. The arseniates of cobalt and Nickel. Can J. Chem. 36, 597-613.

Original recibido: Febrero 1996.

Original aceptado: Septiembre 1996.

INFORMACION

MEDIO FISICO Y DESARROLLO EN ESPAÑA. UNA PERSPECTIVA HISTORICA

Por F. J. AYALA-CARCEDO (*)

INTRODUCCION

Se entiende por desarrollo de una nación el proceso caracterizado por un crecimiento económico sostenido basado en el aumento continuado de la productividad, proceso que históricamente ha venido precedido y/o acompañado de transformaciones sociopolíticas.

En la medida en que una nación se compone de un pueblo y un territorio, parece lógico pensar que el territorio, el Medio Físico, haya debido tener y tenga algún papel en el desarrollo; no son iguales las oportunidades de un pueblo asentado sobre un territorio bien situado, con una Naturaleza favorable al transporte, suelos ricos y abundantes recursos naturales, que las de un pueblo carente de ellos. En el siglo pasado, cuando el sector agrario era importante, la influencia del medio natural fue estimada tan alta que dio origen a la corriente del determinismo geográfico, creado principalmente por el geólogo y geógrafo alemán Ratzel, autor de la teoría del "espacio vital" (lebensraum).

Actualmente, se sabe bien que el sistema social es demasiado complejo para poder reducirse a ninguno de sus componentes², aunque entre los antropólogos goza de influencia el determinismo técnico-ecológico propugnado por el materialismo cultural de Harris³, y es conocido el fuerte economicismo que

caracteriza al marxismo frecuentemente.

Visto con perspectiva histórica, resulta razonable pensar que la influencia del Medio Físico en la Era Agraria y la Primera Revolución Industrial (1765-1885) ha debido ser importante, ya que la mayor parte de la población vivía de la Agricultura, cuya dependencia del suelo, agua y clima es obvia. No tener en cuenta este hecho, es no menos justificable que adoptar una posición determinista geográfica. Sin embargo, resulta evidente, también desde una perspectiva histórica, que aunque el Medio Físico sigue influyendo aún en las sociedades más avanzadas, su fuerza ha ido decayendo con la evolución de la Ingeniería, cuyos logros han ido liberando a las sociedades tecnológicas de la sujeción a la localización geográfica de los recursos y a los ritmos naturales.

En España ha existido una corriente de pensamiento al respecto de este problema de carácter básicamente apolo-gético, que arrancando de Alfonso X, sigue a través del Padre Mariana, (S. XVII), continúa en Martínez de la Rosa, (S. XIX), sigue con el nacionalismo surgido de la Guerra Civil y hoy es visible en algunos planteamientos nacionalistas o regionalistas en las Comunidades Autónomas. Según sus diversos representantes, España (o la región correspondiente) es el país mejor y más dotado de recursos naturales y aptitudes del territorio de Europa o incluso de la Tierra, afirmación para cuya justificación sus autores se sienten a menudo dispensados del menor análisis compa-

rativo sobre bases objetivas, análisis, que como veremos cuestiona claramente esta afirmación.

Frente a esta corriente apologética, otras opiniones han cuestionado desde antiguo la supuesta ventaja natural comparativa de España. El geógrafo griego Estrabón (63-21 a.n.E.), mientras valora la fertilidad de la Bética en su "Geografía" (III, 139), caracteriza a la Celtiberia, la España mesetaria, como poco fértil (III, 137). Felipe II, siendo príncipe, contrapone la "fertilidad" de Francia a "la esterilidad de estos reynos"⁵.

Históricamente, corresponde el mérito de haber planteado por primera vez una visión objetiva casi global desde bases científicas, cuestionadora de este mito de la Arcadia española (quizá comprensible entre las clases acomodadas, pero una dura ironía entre el resto del pueblo), al ingeniero de minas de la Comisión del Mapa Geológico **Lucas Mallada** (1841-1921), uno de los padres del regeneracionismo, corriente de pensamiento nacionalista progresista. Este autor, planteó en 1882⁴ con la base científica disponible que, globalmente, España no admitía en absoluto una comparación favorable con Europa Occidental en cuanto al agro de secano y los bosques (achacándolo al clima, relieve y suelo) y que este hecho era un claro factor del atraso relativo del país. Este punto de vista, ha sido sostenido sustancialmente por la práctica totalidad de los historiadores económicos de los últimos cincuenta años como Vives⁵, Anes⁶, Nadal⁷, Tortella⁸, Milward

(*) Instituto Tecnológico Geominero de España. International History of Geology Commission (UNESCO).

y Saul⁹ y Simpson¹⁰. Ringrose¹¹, ha analizado, al igual que Gómez Mendoza¹², el problema, capital para el desarrollo, del transporte, constatando las graves restricciones impuestas por el Medio Físico.

Una corriente reciente, representada por Prados¹³ en España, cuestiona la atribución al retraso agrario del retraso en el desarrollo de países mediterráneos como España sugiriendo la falta de productividad y competitividad en la industria como factor explicativo. Galassi y Cohen¹⁴, analizando cuantitativamente las diferencias de producto y productividad entre las Agriculturas del Norte y Sur de Italia, cuestionan la interpretación "institucionalista" de que el tipo de tenencia de la tierra sea el factor explicativo, lo cual remite a causas físicas y económicas.

Geógrafos que han analizado el problema como Cabo¹⁵, concluyen que la potencialidad del Medio Físico español para el desarrollo supone un "saldo total desfavorable si lo comparamos con el europeo". Lautensach¹⁶, afirma que "la situación predominantemente periférica de los centros industriales ibéricos... tiene amplios fundamentos físicos: minerales, fuerza hidráulica, facilidad del transporte marítimo".

En los años 50, hubo dos trabajos que trataron el tema concluyendo en tesis próximas a lo que he denominado corriente apologética. El naturalista Eduardo Hernández-Pacheco¹⁷, realizó una amplia descripción físico-geográfica de España, en la que al tocar el tema, concluye que nuestro país es el más favorecido por la Naturaleza en todo el Mediterráneo en cuanto a recursos naturales, y en Europa sólo Francia es más rica en este aspecto. Atribuye la negativa valoración de Mallada a que se fijó en el período 1800-1873, y tomó esta situación transitoria, ese "largo y calamitoso período" como algo constitucional. Su trabajo, casi exhaustivo en el aspecto descriptivo, y de interés en el histórico-geográfico, es sin embargo débil en su aspecto cuantitativo, estadístico y analítico-comparativo, y su perspectiva no toca problemas capitales para el desarrollo como el de la situación geopolítica o el transporte. Aduce en su apoyo, en lo relativo al sector agrario, el trabajo de Martín Sánchez-Juliá¹⁸ de 1955, que sostiene la tesis de que España no sólo no era entonces inferior en este aspecto a los países cen-

tro-europeos, sino superior, tesis que un somero examen de las estadísticas tira por tierra ya que los productos mediterráneos (vino, aceite) frutas y hortalizas, en los cuales España compite con ventaja, catorce años más tarde representaban sólo el 34.5% del valor final de la producción agraria, poco más de un tercio, cifra que ha subido ligeramente al 37,6% en 1993. En el resto de las producciones agrícolas y ganaderas, España no es competitiva con la Europa Atlántica.

Como veremos más adelante la tesis de Hernández-Pacheco, correcta para el Mundo Antiguo, dejó de ser correcta a partir de 1500, cuando el centro geopolítico occidental se sitúa definitivamente en la Europa Atlántica, y por tanto, no era correcta ni en su tiempo ni en el de Mallada.

El problema es de una gran importancia desde los puntos de vista económico e histórico-político, ya que cuanto mayor haya sido la influencia negativa de los factores naturales, de nuestra dotación territorial como pueblo en la Proto-industrialización (1500-1765) y el largo proceso de desarrollo, tanto más crítica habría sido la influencia p.e. en el "despegue"¹⁹ para el desarrollo, de los aspectos institucionales y del papel de las clases dirigentes, al haber menos margen de maniobra con lo que esto significa en términos de interpretación histórica y política. Por otra parte, las pseudoexplicaciones sicologistas del retraso económico-social de los países mediterráneos, del tipo de la indolencia de la población o racistas como la supuesta inferioridad de la "raza" latina, aun popular entre los anglosajones quedarían orilladas.

Por lo dicho, esto conlleva una valoración más crítica de los factores institucionales, algunos, como el minifundismo agrario de la Meseta Norte de España, con influencia negativa directa sobre la productividad.

DATOS RELEVANTES DEL MEDIO FISICO PARA EL DESARROLLO: SITUACION, FORMA Y RELIEVE

Vista España en el mapamundi, se aprecian de inmediato varios hechos relevantes:

- Pertenencia al ámbito mediterráneo.
- Pertenencia al ámbito atlántico.

- Posición periférica, de "finisterrae", en ambos ámbitos.
- Carácter de puente euroafricano y euroamericano, compartidos con Portugal.
- Carácter de península, soldada al continente por el istmo pirenaico.
- Forma compacta, con tendencia pentagonal.
- Situación de las islas españolas en zonas de influencia mediterránea (Balears) y atlántico-americano-africano (Canarias).

Estos hechos simples, tienen una gran trascendencia geopolítica o geohistórica²⁰, y han marcado profundamente la Historia Ibérica, en sus aspectos económico y político como iremos viendo.

La situación latitudinal y occidental en Eurasia, determina la existencia de las dos grandes zonas climáticas, la septentrional, atlántica, templado-húmeda (isoyeta de 600 mm), limitada a la cornisa Cantábrica y Pirineos, y todo el resto, la mayor parte del país, templada-seca, mediterránea, las Españas verde y parda respectivamente. El tamaño, y la forma compacta, determinan un carácter continental para el clima del interior del país. Igualmente, la latitud más meridional que Centro-Europa, determina una mayor insolación anual. La misma posición en un área oriental al continente, dado el papel central de la circulación general del Oeste y el continente africano, hubiera determinado un clima subdesértico.

Contemplada la Península con mayor detalle, y apreciado su relieve, incluso el de la plataforma continental, se observa lo siguiente:

- España está completamente rodeada por cordilleras costeras salvo en el Golfo de Cádiz, dificultando las comunicaciones interior-periferia y orientando a sus habitantes periféricos a tendencias centrífugas marítimas respecto al interior.
- Las costas (3.149 km) son relativamente rectilíneas, sin desgarraduras que lleven el mar al interior salvo en Galicia y algunas rías norteñas, y con pocos buenos puertos naturales.
- La plataforma continental (isobata-200 m), frente a una media mundial de 40 millas, es estrecha, de unas 25 millas (salvo en el Golfo de Cádiz y Valencia, en que alcanza unas 50-60 millas), limi-

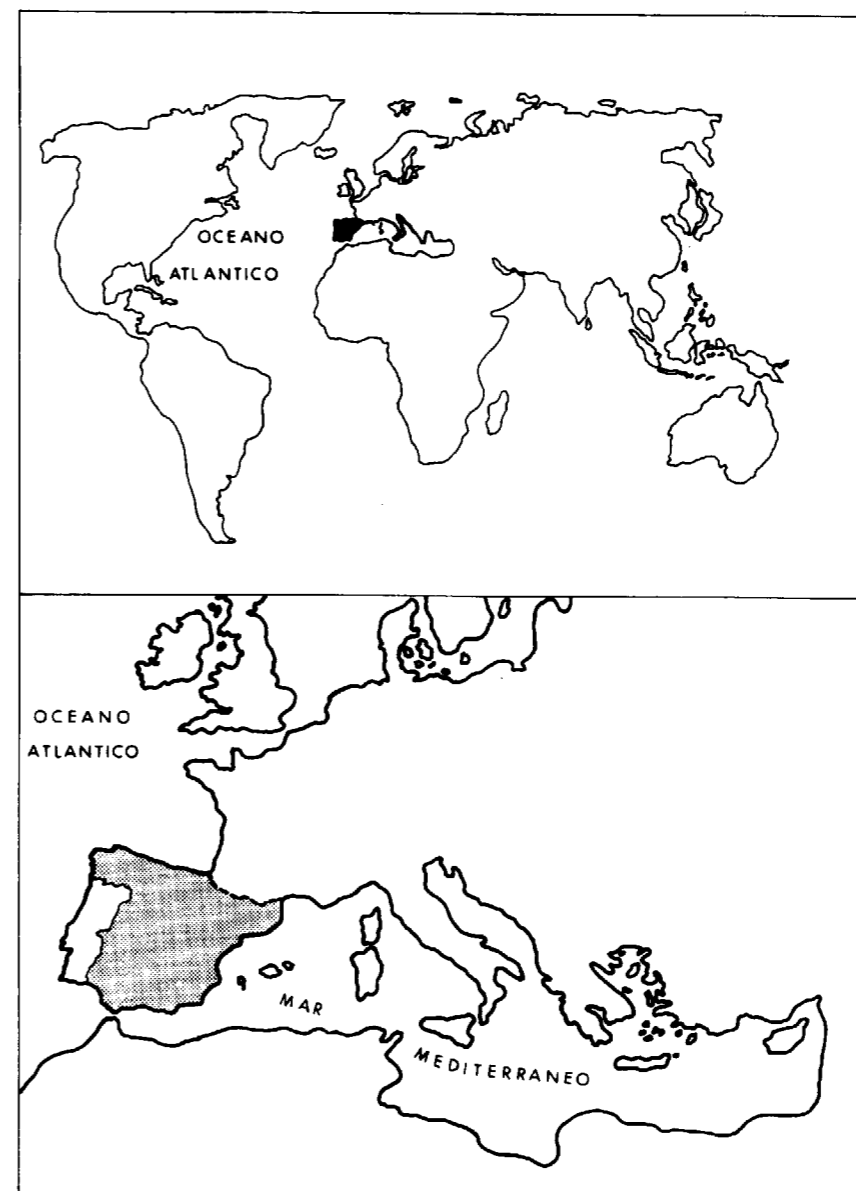


Fig. 1. Situación geográfica de España. Obsérvese el carácter periférico, de finisterrae respecto a Europa y el Mediterráneo, y el de puente Europa-América y Europa-Africa, características ambas que han marcado profundamente la Economía e Historia españolas.

tando pesca y posibles recursos minerales como petróleo y gas. Hay pocos deltas. Las corrientes marinas facilitan el cabotaje mediterráneo y la navegación oceánica atlántica a través de los alios.¹⁵

- Todos los sistemas montañosos se disponen en dirección aproximada Oeste-Este salvo la Cordillera Ibérica y la Costero-Catalana, determinando las

direcciones fundamentales de la red hidrográfica atlántica (E-O), mediterránea (O-E), cantábrica (S-N) y Sur (N-S), facilitando la entrada de los temporales atlánticos al interior por el O., dificultando la de los cantábricos y mediterráneos hacia el interior y creando dos zonas de sombra pluviométrica con áreas de clima subdesértico en Andalucía Oriental-Murcia-S. de Alicante y Aragón-Navarra. Las direcciones de

transporte preferente siguen la red hidrográfica, esencialmente E-O, dependiendo fuertemente las comunicaciones N-S de los buenos puertos de montaña (Despeñaperros, Somosierra, Pancorbo, Somport).

- Todo el interior, central y occidental, está sensiblemente elevado sobre el nivel del mar (500-1000 m), constituyendo una Meseta que enfría el clima y que, junto a los dos grandes valles fluviales periféricos a la misma (Guadalquivir y Ebro), constituye la principal estructura conectiva de las periferias, orientando a sus habitantes a nivel histórico al desempeño de un papel aglutinante de la periferia desde posiciones geopolíticas continentales. La Meseta hace que la altitud media de España, 660 m., sea el doble de la europea e imprime un carácter más frío al interior.

- La frecuencia de ecotonos montañallanura, favorece integraciones económico-políticas a escala regional, tendencia favorecida por la compartimentación del relieve y que ha originado las regiones geográficas, de fuerte base física y tendencia frecuentemente autárquica.

- Carácter montañoso del istmo pirenaico (no perforado por el ferrocarril hasta 1917), que refuerza el carácter periférico respecto a Europa, favoreciendo la conexión a dos regiones, País Vasco y Cataluña, las dos primeras en realizar el "despegue" industrial en el siglo XIX.

Todo el relieve tiene un fuerte condicionamiento geológico²¹.

CLIMA, SUELO Y RECURSOS NATURALES: UNA VALORACION COMPARATIVA

El dato climático fundamental es la existencia de las dos zonas climáticas señaladas: atlántica y mediterránea, esta última con dos subzonas: la marítima y la continental.

La Iberia húmeda (isoyeta mayor de 600 mm/año, alrededor de un séptimo del país) se caracteriza por la falta de una estación seca, característica del período Mayo o Junio a Septiembre-Octubre en la mediterránea, que tiene además frecuentes sequías. Es característica de la zona mediterránea, especialmente la marítima, una acusada torrencialidad de

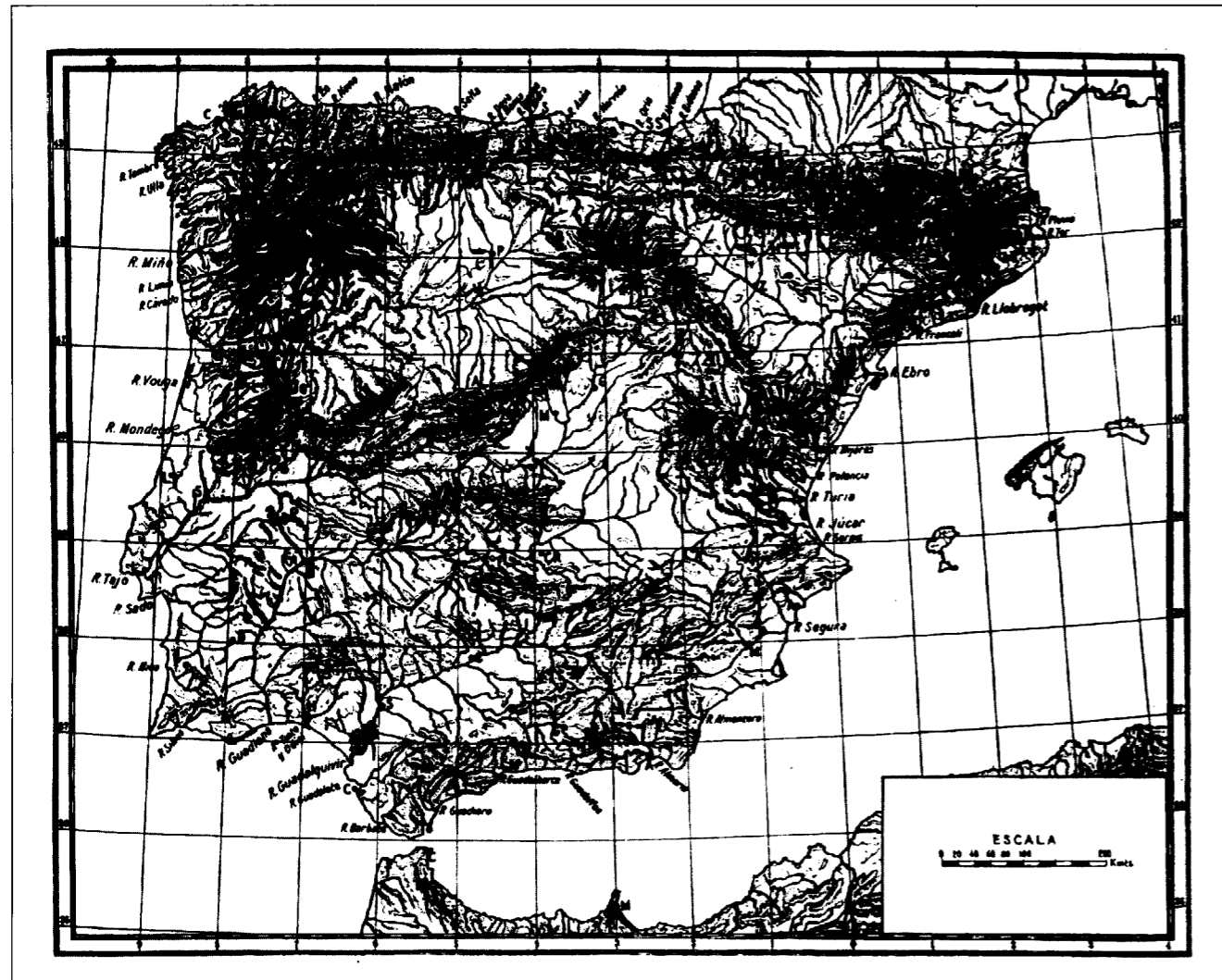


Fig. 2. Relieve y ríos ibéricos. El relieve ha condicionado históricamente el aislamiento del interior respecto a la costa, los altos costos de transporte y la compartimentación y diferenciación regional. (Hernández Pacheco, E. 1955 y 56).

la precipitación, concentrada en la mayor parte del total anual en unos pocos episodios, favorecedores de la escorrentía e inundaciones, pero poco favorable a la infiltración y aumento de la reserva hídrica del suelo²². La continentalidad impresa por la Meseta (mayor que el término medio mundial de igual latitud¹⁶) tiene como resultado una elevada amplitud térmica con heladas tardías (mayor de 180 días en gran parte de Castilla y León frente a menos de 30 en las costas mediterráneas). La insolación, es netamente superior a la centro-europea.

El clima imprime su sello especialmente en los regímenes hidrográficos y en los

recursos hídricos. En España, por efecto de la temperatura relativamente elevada y la escasa precipitación, gran parte de ésta se evapotranspira. Gracias a las montañas interiores y costeras, los caudales específicos medios de los ríos ibéricos septentrionales (litros/segundo x km²), no son muy diferentes de los europeos (7,4 el Ebro, 5,8 el Tajo, 19,1 el Miño, en las desembocaduras, frente a 5-10 en las llanuras francesas, 7,3 el Sena en París y 18,6 el Ródano¹⁶, 7,74 el Danubio y 21,1 el Po¹⁸); no sucede así con los meridionales (1,65 el Guadiana en Badajoz, 3,75 el Guadalquivir en Cantillana, 2,3 el Júcar en la desembocadura)²². Estos hechos y la más baja densidad demográfica de Europa, pro-

porcionan unos recursos teóricos medios por habitante de 3.000 m³ frente a los 2.500 de la Unión Europea²¹. Para centrar esta imagen, es necesario sin embargo tener en cuenta la gran disparidad entre el Norte y Sur o Levante (las Cuencas de la Cornisa Cantábrica, el 10,6% del territorio, cuenta con el 36,3% de los recursos; las del Sur y Júcar, con el 15,8% del territorio y las más fértiles climáticamente, con el 6,6% de los recursos²¹) y la gran irregularidad anual (módulo Caudal medio mensual Máximo/Caudal medio mensual mínimo de 2,4 en el Ebro, 10,6 en el Guadiana y 11,6 en el Tajo²⁴) e interanual, con fuertes sequías en la mayor parte de España.

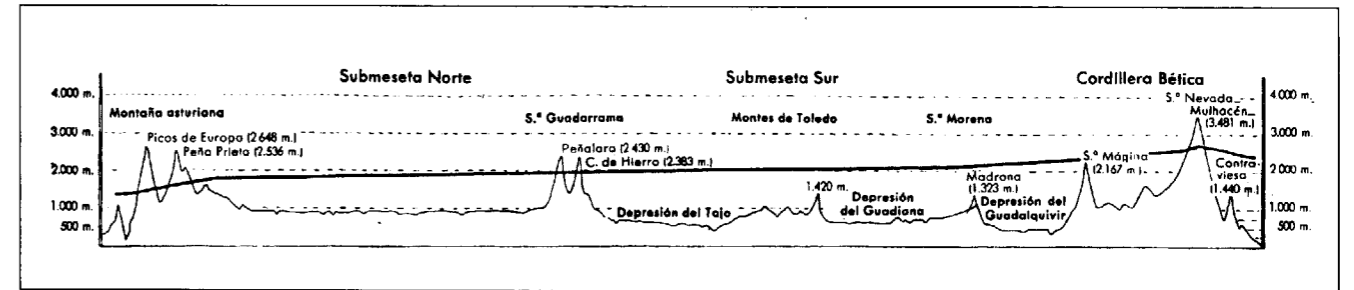


Fig. 3. Corte Norte-Sur de la Península con el límite de nieves permanentes en el Würm. La altitud de la Meseta ha acentuado la continentalidad del clima empeorando los rendimientos agrarios (En Lautensach, H., 1967).

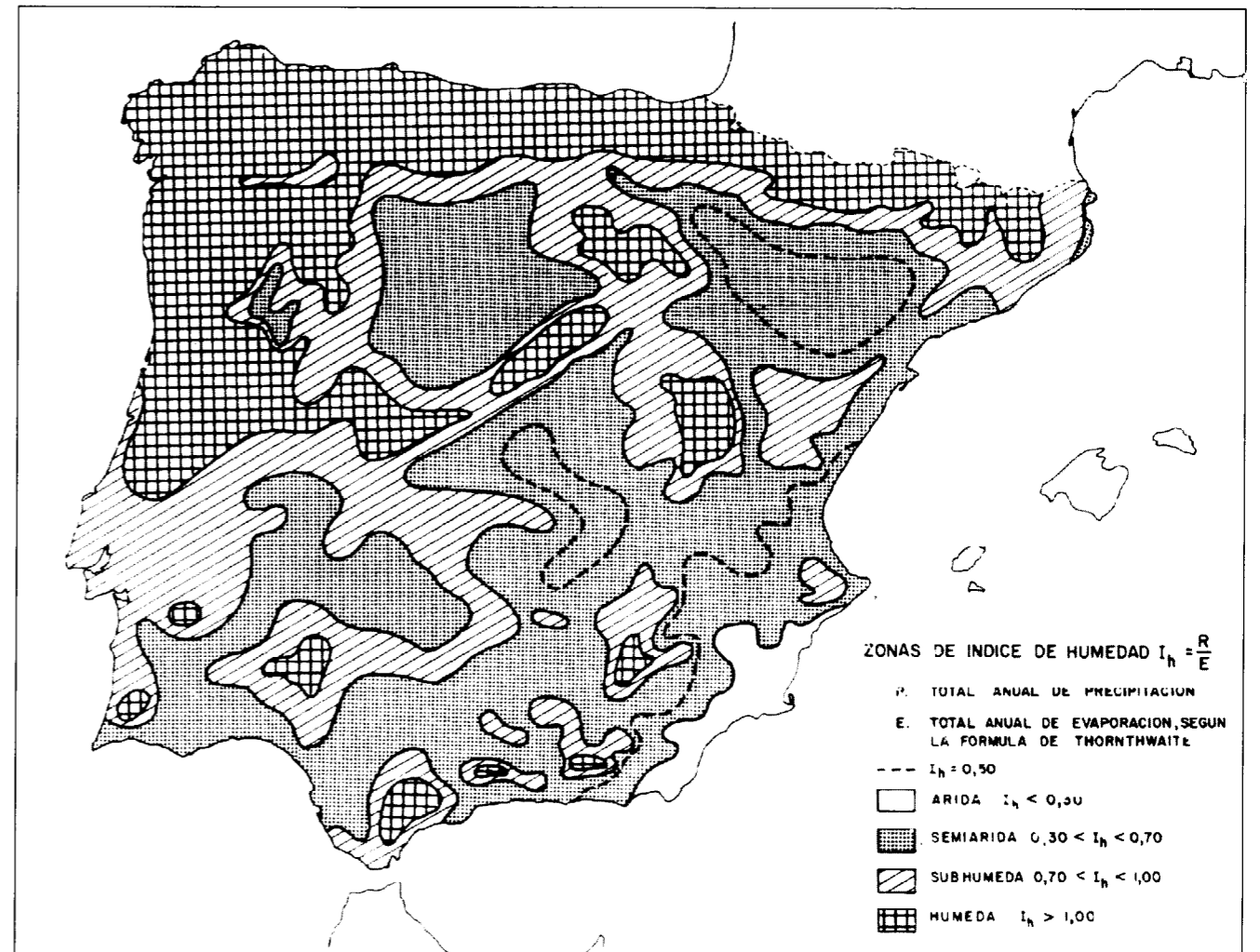


Fig. 4. Aridez y humedad en la Península Ibérica. Obsérvese el carácter semiárido del clima de la mayor parte de la Península, que ha condicionado fuertemente Agricultura, Montes y Recursos Hídricos (Font Tullot, I., 1983).

A consecuencia de estos hechos, sólo es directamente aprovechable sin regulación un 8% de los recursos frente al 40% de la Unión Europea, el 25% del consumo total en 1993²⁵. El costo de igualarnos a la Unión Europea (regulación hasta el 40%), ha supuesto la construcción de una capacidad de embalse superior a los 50.000 Hm³ principalmente en este siglo y más de 500.000 pozos, **inversiones billonarias que han debido detraerse de otros sectores**; las inversiones inicialmente previstas en el retirado Plan Hidrológico Nacional de 1993 eran superiores a los 6 billones de pesetas²⁴. España es hoy el país con el agua más cara en origen de la Unión Europea²⁶.

Resulta por tanto claro que España tiene

y ha tenido históricamente una **clara desventaja competitiva con la Unión Europea en cuanto a recursos hídricos**, agravada por el divorcio entre fertilidad climática y disponibilidad de recursos hídricos en el Levante y Sur. En el Levante, esta desventaja ha sido paliada parcialmente, con un costo significativo, por la existencia de acuíferos en rocas carbonatadas de la España caliza.

La **Flora y Fauna** españolas, como consecuencia del tamaño del país, la existencia de tres zonas biogeográficas (eurosiberiana en el Norte, mediterránea y macaronésica en Canarias), la existencia de numerosas cadenas montañosas favorecedoras de endemismos y la diversidad de hábitats, son **las más diversas de Europa**. La flora cuenta con más de 5.500 especies²⁷.

Los **suelos**, mayoritariamente cambisoles, debido al divorcio agua-temperaturas característico de los climas mediterráneos, tienen en general una **evolución, materia orgánica y espesor limitados, que repercute negativamente en la fertilidad agrícola, forestal y para pastos**. Pueden exceptuarse los suelos aluviales, que han sido y son los que han originado las mejores zonas agrarias en las vegas (Guadalquivir y Guadiana p.e.) y los planas levantinas. Por otra parte, las pendientes (sólo el 12% del país tiene menos del 5% de pendiente) la limitada cobertura vegetal (matorral y arbórea), aliadas a la torrencialidad mediterránea, los incendios, las a menudo inadecuadas prácticas de laboreo y los cultivos leñosos mediterráneos (frutales, olivo y vid que dejan relativa-

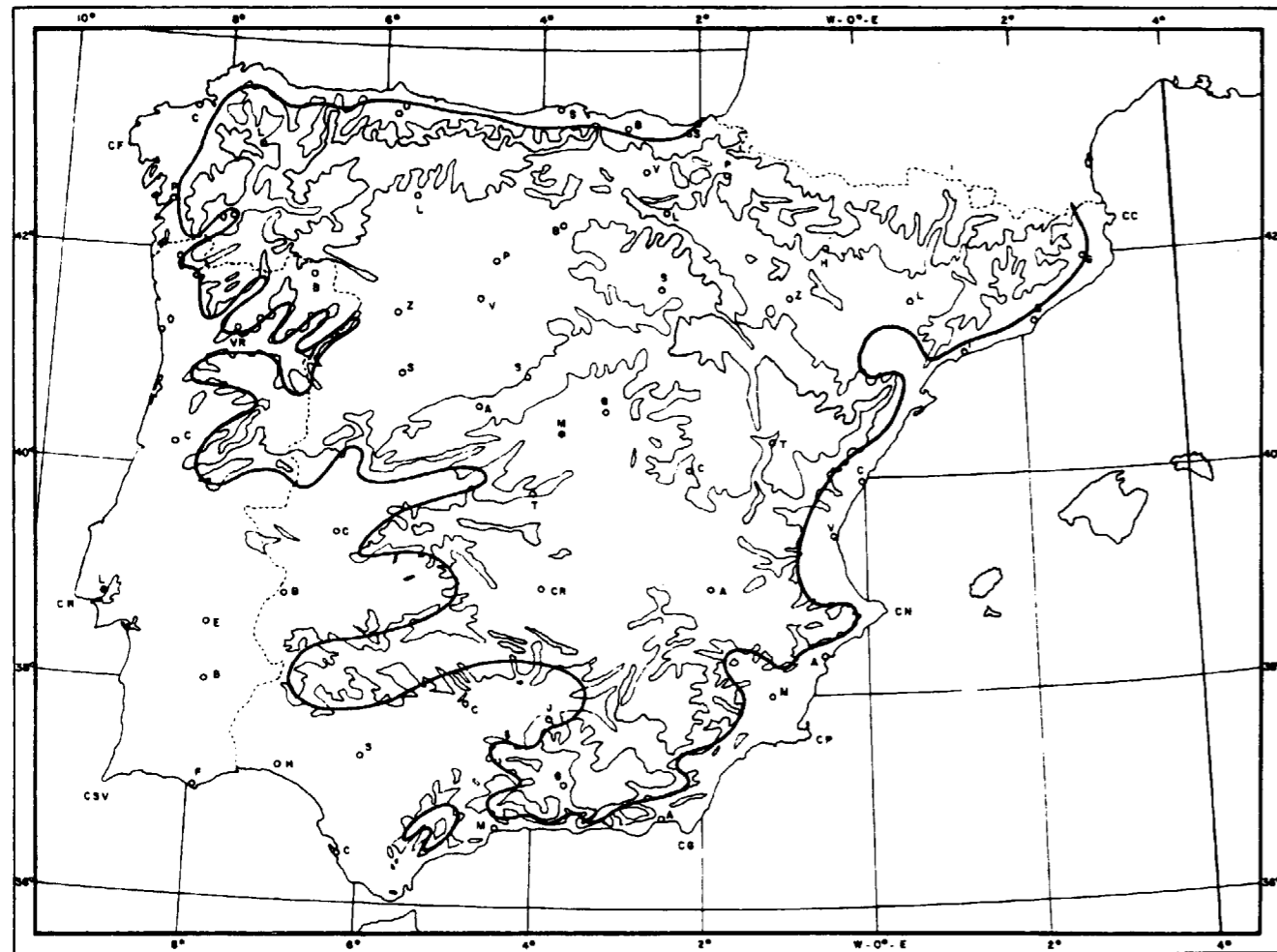


Fig. 5. Zona libre de heladas tardías, reducida a las áreas costeras, Guadalquivir y Portugal por la continentalidad del clima. Las heladas tardías son un factor negativo para la Agricultura (Font Tullot, I. 1983).

mente desprotegido el suelo), han favorecido un proceso secular de erosión que ha decapitado frecuentemente los horizontes edáficos superficiales con materia orgánica, empobreciendo aún más la ya de por sí débil fertilidad edáfica en la España continental y mediterránea. Las áreas de clima atlántico, por el acusado relieve, tienen suelos menos desarrollados de lo que hubiese podido ser, aunque poseen suelos aceptables para praderas y pastizales.

España posee una **dotación de recursos minerales mejor que el resto de los países europeos mediterráneos**, ya que tiene carbones y una mejor dotación de minerales metálicos. Estos últimos, necesarios primero el cobre y estaño para las civilizaciones del Bronce, después la plata y oro para las clásicas, favorecieron el establecimiento no tardío de vínculos en el área mediterránea

y del Golfo de Cádiz con las civilizaciones mediterráneas, dando origen este contacto a los pueblos ibéricos²⁸. Sucesivamente, fenicios, griegos, cartagineses, romanos y musulmanes, fueron atraídos por la riqueza metálica de España. Estos yacimientos, al igual que los de los metales industriales, hierro, cinc y plomo (que coinciden parcialmente con los de metales preciosos), están en una posición periférica respecto a la Meseta²⁹.

Los carbones de utilidad en el despegue industrial, las hullas y antracitas (los lignitos sólo incidirían con fuerza tras la crisis energética de 1973), se localizan también periféricamente respecto a la Meseta y son prácticamente inexistentes en las regiones mediterráneas. España tenía unas reservas seguras a finales de los 80 de 341 millones de Tm de hulla y antracita frente a 8.694 del

Reino Unido, 23.761 Alemania y 188 Francia³⁰. Sin embargo, gran parte de los yacimientos, son capas de espesor o menor que el de los países del "núcleo duro" europeo (Reino Unido y Alemania principalmente), o presentan importantes restricciones geológicas a una explotación barata, especialmente en Asturias (por el plegamiento durante la fase astúrica de la orogenia Herciniana); por otra parte, las hullas directamente coquizables son poco abundantes. España, en este sentido, no ha dispuesto de carbón abundante y barato como los países europeo-occidentales, atlánticos, (debiendo importar hulla sistemáticamente) pero sí de más que cualquier país europeo-mediterráneo. En 1993, el autoabastecimiento de energía primaria fue del 56,5% en carbón.

España contiene yacimientos muy reducidos de petróleo y gas, de forma neta-

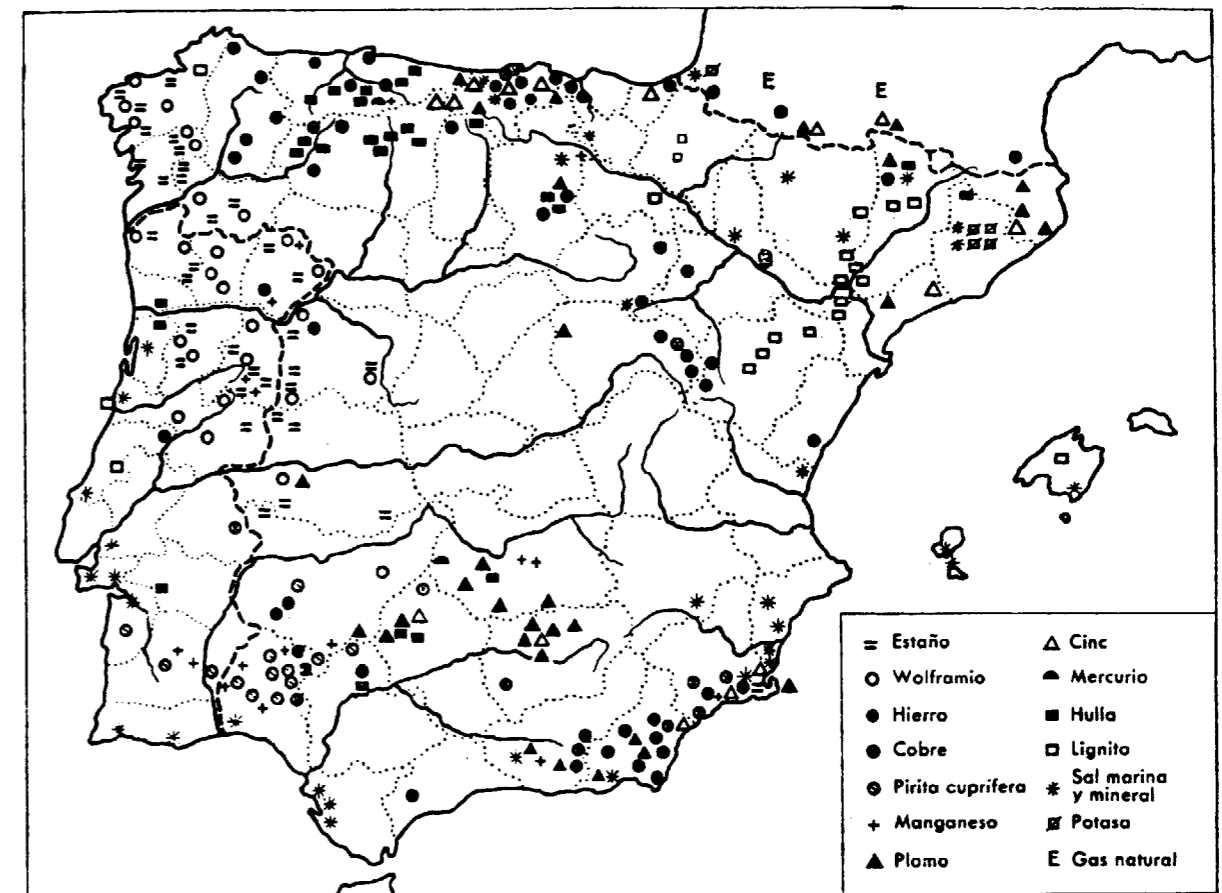


Fig. 6. Recursos minerales de la Península. Obsérvese el carácter periférico respecto a la Meseta y la ausencia de carbón en el Mediterráneo (En Lautensach, H., 1967).

mente más restrictiva que la de Francia (Lacq), Italia (Po), Alemania, Holanda (gas), Reino Unido (Mar del Norte) y países nórdicos (Mar del Norte). En 1993 el autoabastecimiento en petróleo y gas fue del 1,6 y el 11,9% respectivamente.

Existen también interesantes yacimientos de rocas ornamentales y minerales industriales, así como áridos suficientes para la construcción.

La **pesca** es más variada en especies que la del resto de los países europeos por la extensión de las costas y la diversidad climática y oceanográfica. Ya desde la Antigüedad la riqueza pesquera atrajo a los fenicios (salazones) o romanos (garum). Sin embargo, la limitada extensión de la plataforma continental y el uso desde antiguo, en forma de salazón, como fuente de proteínas animales por la debilidad de la ganadería, ha propiciado una vieja tradición de pesca en aguas internacionales, que a pesar de situarnos en un puesto de vanguardia en tecnología pesquera, evidencia cierta insuficiencia de los recursos nacionales, que vienen sufriendo el agotamiento de

caladeros litorales al menos desde 1927²⁴. Debe señalarse que siendo mayor el consumo per cápita que el europeo, la pesca ha representado en relación al desarrollo más una oportunidad que un freno, contribuyendo a una alimentación proteínica mejor. Con todo, hoy, el saldo exportador es claramente deficitario (141.000 millones en 1993 en pesca, debido al alto consumo per cápita).

MEDIO FISICO, AGRICULTURA Y MONTES: UNA VALORACION COMPARATIVA

El desarrollo agrario depende de factores físicos, técnicos, económicos e institucionales. Los rendimientos económicos, para una misma técnica, como ya demostró Ricardo, tienen un punto óptimo a partir del cual se tornan decrecientes, estando este punto en relación con factores físicos como la fertilidad del suelo, el clima, la especie y el agua y factores técnico-económicos.

El cultivo de la tierra y la ganadería, han

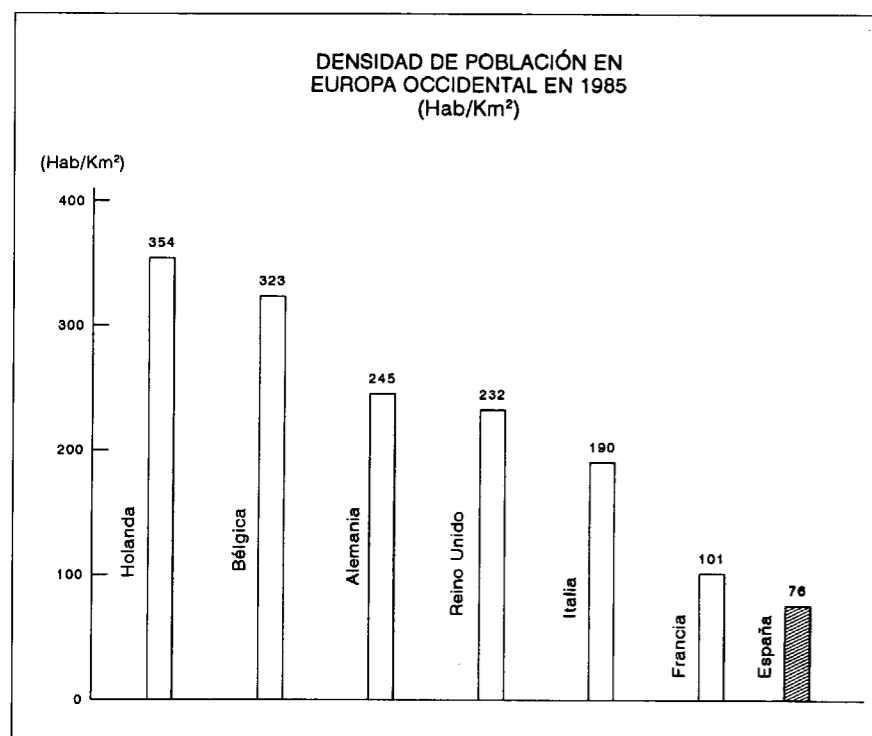


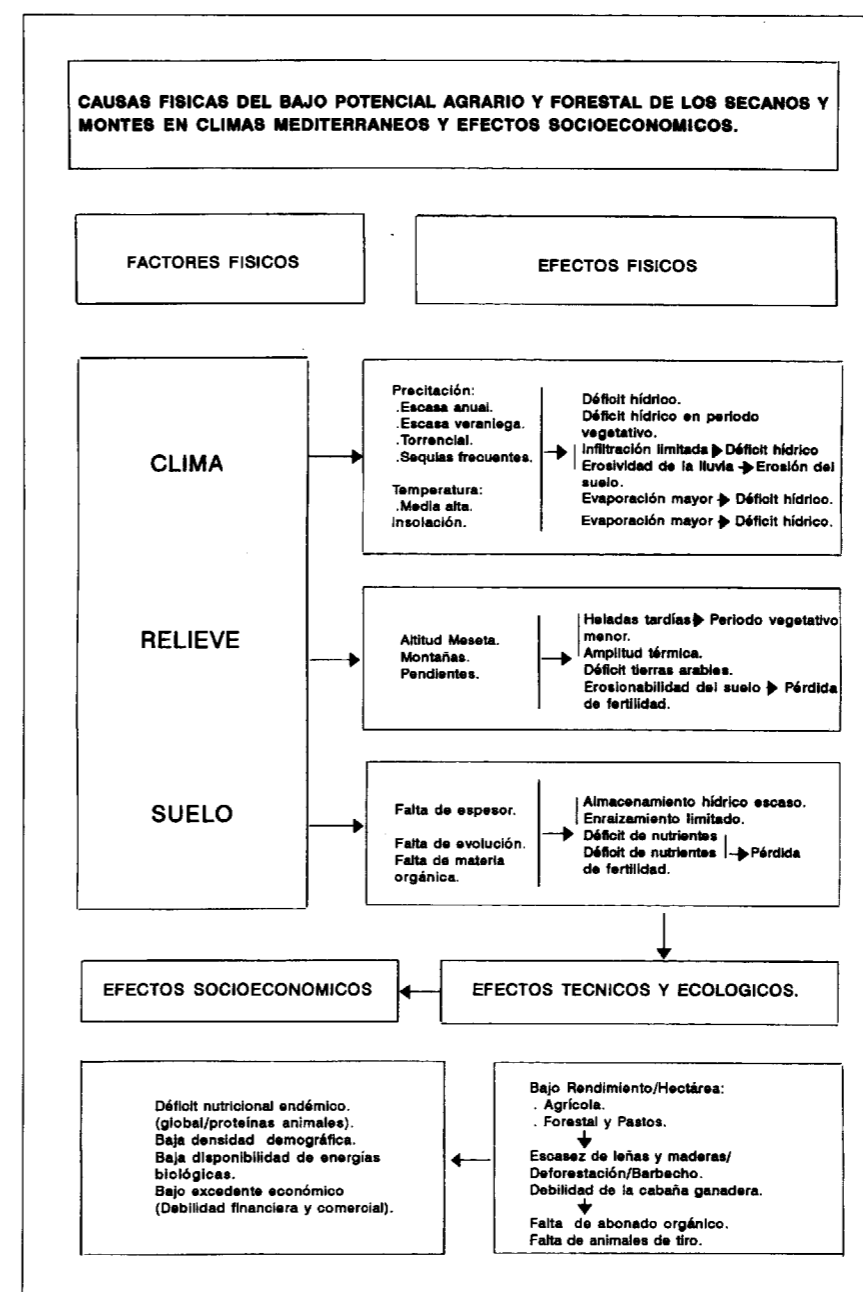
Fig. 7. Densidad de población española respecto a Europa Occidental, resultante de los bajos rendimientos agrarios por el adverso Medio Físico y el lento proceso de desarrollo entre otros factores.

ocupado a la mayor parte de la población hasta fechas muy recientes; en España, en 1900, al 68%, similar a la de 1800²⁵. Sólo en los 40, descendió la población agraria bajo el 50%. Es comprensible por tanto que la problemática agraria haya sido fundamental para el desarrollo, y el Medio Físico por tanto, en la medida que haya representado un freno o una oportunidad a este sector.

La mayor parte de España tiene clima mediterráneo (continental extremado en el interior), clima que presenta desventajas comparativas con el atlántico, propio de la Iberia húmeda y la Europa Atlántica, para la producción de cereales, base central junto a la patata (desde el XIX) de la alimentación humana hasta hace unos pocos decenios. En el Cuadro siguiente, puede verse como las características del clima mediterráneo y los suelos españoles, favorecen el déficit hídrico y la falta de fertilidad. Como ha señalado Cabo¹⁵, el índice de fertilidad agroclimática de Campos Nordmann (Latitud/Diferencia Térmica anual Máxima-mínima), oscila entre 1,36 y 1,55 para la Cornisa cantábrica, 1,05 para Castilla y León y 0,88 para Castilla-La Mancha, frente a 1,55 en el Sur de Francia, 2,66 en Bélgica y 1,75 en el Veneto, dejando a España "fuera de la gran fertilidad climática europea".

Cuando en el siglo XVIII se produjo la Revolución Agrícola en la Europa Atlántica, algunos ilustrados españoles intentaron aplicar las técnicas de rotación de cultivos y abonado pecuario sin éxito; clima y suelo no lo permitían.

La consecuencia de este complejo de factores, es de un lado la necesidad histórica de dejar en barbecho casi la mitad de la superficie cerealista disminuyendo de facto la superficie útil por habitante y de otro el **menor rendimiento comparativo de nuestros secanos respecto a la Europa Atlántica**. Así en 1901-10, el rendimiento del trigo fue de 8 quintales/Ha en España frente a 13,6 en Francia, 22,1 en el Reino Unido y 19,7 en Alemania²². Simpson¹⁰, en unidades equivalentes de trigo, sitúa el rendimiento global agrario español en 1930 (que subió en un 55% desde 1900, a consecuencia de la vertedera y el abonado) en 0,3, frente a 1,5 en Francia y 0,5 en EE.UU. Cabo²³, para el período 1979-83, sitúa el rendimiento del trigo en España entre 15 y 25 quintales/Ha, frente a 50-65 en Francia, Alemania y Reino Unido y 25-35 en Italia; ni tan siquiera la gran elevación



del rendimiento consecutivo a la mecanización de los años 60 y 70, consiguió reducir significativamente la diferencia, igual que había sucedido con las rotaciones consecutivas a las Desamortizaciones, que en unas décadas entraban en rendimientos decrecientes. En 1980, los rendimientos en patata fueron 1,8 veces menores a los europeos.

Clima y suelo, tienen incidencia también en los **rendimientos forestales**. Cabo¹⁵

cita rendimientos de madera por Hectárea y año de 0,5 m³ en España frente a 2,4 en Francia y 3,1 en Alemania. En 1968, según Tamames²⁴, tras la intensa repoblación forestal desde los 40 impulsada por el régimen de Franco, en los montes medio y alto había 16 m³ de madera por Hectárea, frente a 82 en Francia, 57 en Italia y 126 en Alemania, que suponían una posibilidad de corte anual de 0,357 m³/Ha frente a 2,2 en Europa; según este autor,

estos datos evidenciaban la existencia de una superficie rasa encubierta de 7,4 millones de Hectáreas en los montes arbolados. Según Korotkow y Peck⁴⁸, el crecimiento corriente en los bosques explotables de la Península fue de 39 millones de m³/año en 1980-90 frente a 178 en la Europa Septentrional y 214 en la Central y Oriental, lo que habida cuenta de las extensiones respectivas, indica un **ritmo de crecimiento claramente menor en la Península**. En 1991, la cobertura comercial de nuestras necesidades de productos forestales, en términos económicos, fue del 28,5%, cifra suficientemente explicativa.

Los menores rendimientos agrarios y de los pastos, suponían indefectiblemente un menor potencial ganadero; en 1859, la ganadería suponía alrededor de un sexto de la riqueza agraria²⁵; no es de extrañar, que según este mismo autor, en 1834, de un total de 12 millones de habitantes sólo 1,55 comieran carne. Como Mallada⁴ dijo "se llama sobriedad a la miseria... Somos indolentes por naturaleza, se dice, en vez de confesar que estamos anémicos por carencia de recursos". Las cabezas de vacuno pasaron de 1,65 millones en 1797 a 1,46 en 1888, y de 11,7 a 13,7 el lanar; de 1888 a 1984, la ganadería creció al 2 por mil anual en el ovino, 1,2% en el vacuno y 2,5% en el porcino. Estos datos indican, junto a factores socioeconómicos, limitaciones claras del Medio Físico para ovino y vacuno, este último con aumentos debidos sobre todo a la cabaña noroesteña.

Aún así, en un buen año, como 1980, la producción láctea por cabeza fue un 32% menor que la europea²³.

Un sector como el agrario, frenado claramente por razones físicas en el secano y ganadería, base de la vida de la mayoría de la población hasta bien entrado el siglo XX, inevitablemente tuvo que repercutir esta falta de competitividad en el resto de la Economía, con su escaso ahorro y escasa capacidad de compra al sector industrial, que se encontró así con un freno para su progreso. No es de extrañar que los hornos altos vizcaínos del último cuarto del XIX tuvieran que exportar la mitad de su producción. Previamente, probablemente frenó la Protoindustrialización (1500-1765) por las mismas razones y la marginación de los cultivos frente a la trashumancia ovina. Igualmente, los aumentos de población desde el XVIII,

tendieron a concentrarse en la periferia en detrimento del interior, área del secano y ovino.

Tras la crisis agraria de los 80 del XIX, el sector cerealista entró en una cultura proteccionista que ha proseguido hasta hoy, a pesar de los aumentos de rendimientos y productividad del siglo XX.

Previamente, al menos desde Alfonso X El Sabio que dio impulso decisivo a la Mesta en el siglo XIII hasta el XVIII con los Borbones, la protección se dispensó al pastoreo trashumante de las merinas frente al desarrollo cerealista, constituyendo la lana el principal rubro exportador hasta el XIX. En la Hispania romana, el sector mediterráneo, vid y olivo, fue el más cultivado, como volvería a suceder en el XIX.

Bajos rendimiento cerealistas y ganadería, contribuyeron al proceso deforestador secular de forma decisiva, espoleado por los bajos rendimientos y la necesidad de pastos.

Las zonas potencialmente regables, principalmente las de altitud menor de 200 metros, en la fachada mediterránea y Andalucía, siguieron desde mediados del XIX otro camino que se reveló más prometedor, ante la demanda de una Europa atlántica en desarrollo, aprovechando las ventajas de insolación del clima: la producción de frutas, principalmente cítricos y conservas, base del relativo desarrollo valenciano. Hoy, esta cultura del regadío mediterráneo y meridional se materializa en un sector frutícola y hortícola pujante orientado también a la exportación a la Europa Atlántica. Las zonas de clima mediterráneo aptas para el olivo y la vid, experimentaron asimismo un considerable desarrollo de signo exportador desde el XIX, pasando a ocupar el primer puesto en las exportaciones, seguidas por los minerales. Esta favorable utilización de las oportunidades agrarias brindadas por el Medio Físico, fue posible gracias al aumento de las superficies cultivadas; así la vid aumentó de 0,4 millones de Has en 1800 a 1,45 en 1900; el olivo seguiría un fuerte crecimiento también durante el XX (de 1,3 millones de Has en 1900 a 2,1 en 1935)⁵.

El Norte atlántico, privado por el relieve de un desarrollo agrícola que el clima hubiera posibilitado, se orientó correctamente hacia la ganadería (y el cultivo del maíz desde el XVIII), constituyén-

dose gracias a sus prados con altas producciones posibilitadas por el clima atlántico en la principal área de ganado vacuno e industrias lácteas.

MEDIO FISICO Y TRANSPORTE

El Medio Físico impone a los transportes interiores diversos frenos en relación con la Europa Atlántica y la Mediterránea. El transporte interior tiene que servir a un país relativamente grande (segundo de la Unión Europea), de forma compacta, parecido a Francia, pero muy diferente de Portugal, Italia o Grecia, con costas fácilmente accesibles. La falta de desgarraduras de la costa que acerquen el mar al interior, acentúa la dificultad impuesta por las barreras montañosas a la circulación en dirección Norte-Sur, al igual que las omnipresentes cordilleras costeras. Súmese a esto la casi inexistencia de ríos navegables, y compárese con las llanuras inglesa, holandesa o francesa, surcadas por canales navegables desde hace cinco siglos, y se advertirá que **España es el país con el Medio Físico más adverso al transporte interior de la Unión Europea.**

Este freno, que hoy ha sido en cierta medida controlado gracias a inversiones por habitante necesaria y comparativamente más cuantiosas que en el resto de Europa, (un país grande y con la menor densidad demográfica de toda la Unión Europea), **ha actuado de forma permanente a lo largo de nuestra Historia.** Si a estas dificultades de origen físico, le añadimos la debilidad histórica de la cabaña de animales de tiro por los bajos rendimientos agrícolas y de pastos como antes veíamos, tendremos idea de nuestra pobre competitividad en este sector fundamental para el desarrollo. Una idea de lo que los altos costes de transporte han representado nos lo da el hecho de que en 1884, el transporte por carro de una tonelada de carbón inglés desde el puerto al interior, suponía multiplicar por cuatro su costo cif.³⁶. No es extraño que el Bajo Guadalquivir, navegable hasta Córdoba en la época musulmana, haya sido el eje económico fundamental hasta bien entrada la Edad Moderna. Los menores costes del transporte han sido un factor fundamental para el desarrollo diferencial de los valles fluviales en el interior y las zonas costeras, servidas con el cabotaje, mucho más barato que el transporte terrestre. En 1878, el transporte carretero costaba 0,82 pta/Tm x Km

frente a 0,04 el cabotaje³⁶; no es extraño que la vertebración económica de la periferia haya sido más temprana y mayor que la del interior. Ringrose¹¹ ha mostrado el papel del transporte en el estancamiento económico del período 1750-1850.

Es ante este panorama difícil dónde hay que situar la importancia del ferrocarril en España, vertebrador fundamental del mercado nacional en unos 20 años (1850-70). En este sentido Antonio Gómez Mendoza³⁸ piensa que la inversión de los cuantiosos capitales que demandó su construcción, que pudiera haber ido destinado a la industria, e incluso la importación del material en vez de haber agudado al montaje de una industria suministradora, estuvieron plenamente justificados, ya que indujeron ahorros superiores (el costo de la Tm x Km por ferrocarril en 1878 era de 0,085 pesetas, un décimo del transporte carretero).

Los transportes exteriores, base del comercio internacional, ante las dificultades y altos costes del transporte terrestre, poco favorecidos por la distancia y una barrera como la pirenaica y la marginalidad de la navegación interior se orientaron desde época temprana al mar. Es así como en el Baja Edad Media salía la lana a través del puerto de Bilbao hacia la Europa Atlántica. A partir de la posguerra el transporte por carretera llevaría portes progresivamente más importantes gracias al aumento de los camiones.

Históricamente, la necesidad de recurrir al transporte marítimo de forma intensa, propició el papel de potencia marítima de España, su contribución esencial a la exploración del Mundo y el desarrollo de la construcción naval y las técnicas de navegación, donde España jugó el papel más destacado en el siglo XVI.

Con todo, los obstáculos derivados del Medio Físico al transporte aunados a la baja densidad demográfica siguen representando aún hoy una pérdida diferencial de competitividad clara para España; así según Bosque Maurel³⁷ a comienzos de los 80, cada 1.000 dólares de PIB necesitaban 4.000 Tm x Km en España frente a 1.700 en Europa Occidental, cifras suficientemente elocuentes.

Un ejemplo de la **pérdida de competitividad que el carácter europeo-periférico**

comporta, está en el hecho de que Holanda, sin sol ni temperatura para el cultivo del tomate, produciéndolos con fuertes gastos energéticos y en invernaderos, compite hoy con el tomate español en Europa.

El hecho de que las primeras regiones industrializadas en España (País Vasco y Cataluña) e Italia (Valle del Po) sean las menos periféricas respecto al centro de gravedad europeo-atlántico, probablemente tiene en parte las mismas raíces.

Italia, más periférica por mar que España, ha optado por el transporte rápido y económico por autopistas. Grecia, es hoy la peor situada en este campo.

MEDIO FISICO Y DESARROLLO INDUSTRIAL

A la vista de lo expuesto anteriormente pueden comprenderse los numerosos obstáculos que históricamente el Medio Físico ha puesto al desarrollo industrial, insuficientemente compensados por algunas oportunidades. No entraré en el análisis de los factores institucionales relacionados con el largo proceso del desarrollo, de la negativa estructura de propiedad de la tierra en gran parte del país (latifundista y minifundista), a la bajísima alfabetización, que ha analizado Tortella⁸, que fue estructuralmente mayor en los países católicos, dispensados de la lectura de la Biblia, errores como la salida del patrón-oro a finales del XIX³⁹, pérdida de oportunidades históricas como las Desamortizaciones, etc. Sólo analizaré los aspectos directamente condicionados por el Medio Físico, primeramente en el período Protoindustrial (1500-1765) y después en la Primera Revolución Industrial (1765-1885).

A finales del siglo XV España tenía 7 millones de habitantes³⁸, que eran 8,5 a finales del XVI; el XVII supone un claro retroceso con unos 7 millones estimados a comienzos del XVIII. El XVIII es siglo de claro crecimiento, terminando con unos 10.5 millones, debido más que a un aumento de las productividades y rendimientos agrarios, a la retirada de factores de mortalidad como las pestes y la política de roturaciones estimulada por los Borbones. Estos datos parecen indicar que todavía en el XVI, la actuación de diversos factores se tradujo en un importante aumento de población,

mayor que el del resto de Europa. Parte de las causas deben buscarse en el proceso de desarrollo existente en el XV, con un sector lanero exportador bien organizado, una cierta industria textil (Béjar) numerosas herrerías en el País Vasco y Pirineos que aprovechaban leñas, minerales y fuerza hidráulica y exportaban manufacturas a toda Europa y una Europa Atlántica metida ya en la Pequeña Edad Glacial⁴⁰.

Sin embargo, la crisis económica europea de la segunda mitad del XVI consecutiva a la Revolución de los Precios desatada por los metales preciosos americanos, las dos quiebras del Estado Español en el XVI derivadas de su política europea, el empeoramiento del clima derivado de la entrada en la Pequeña Edad Glacial y el crack lanero e industrial o la expulsión de los judíos y moriscos segaron la inicialmente favorable entrada de España en el período Pro-toindustrial con un crecimiento basado más en el sector exportador que en el crecimiento cualitativo del mercado propio. Otra vez, los omnipresentes frenos a la Agricultura del Medio Físico y los endémicos problemas del transporte junto al peso del deteriorado liderazgo europeo, volvieron a colocarse en primer plano precipitando a España en la decadencia del XVII, en un momento en que la Europa Atlántica, con Francia, Inglaterra y Holanda a la cabeza, proseguían su desarrollo protoindustrial, y aprovechaban ventajas diferenciales como sus ríos y canales navegables o su Agricultura.

Nunca se insistirá suficientemente en que **la inexistencia en España de una "época de navegación interior"** como la de la Europa Atlántica del XV al XIX, es un factor clave del retraso.⁵⁰

El XVIII, presenció un serio intento, bajo el Despotismo Ilustrado de la nueva dinastía, de desarrollo estimulado desde el Poder. **España, sin embargo, por razones fundamentalmente físicas, quedó al margen de la Revolución Agrícola,** irrealizable en climas mediterráneos, y muy recortada en el Norte por el relieve. Los ilustrados como Jovellanos, fueron plenamente conscientes de que la Agricultura y sus problemas y el transporte, ambos fuertemente condicionados por el Medio Físico, eran dos cuellos de botella fundamentales para el desarrollo del país. Resulta casi patética p.e. la búsqueda de vías navegables en una zona tan inadecuada como Asturias para pro-

mover el carbón. Sólo una región, Cataluña, en base al desarrollo de la agricultura mediterránea y al aprovechamiento de la fuerza hidráulica de los ríos pirenaicos para una industria textil y alimentaria que encontraron mercado en América, y en una población que creció en España casi un 50% en el siglo, sentó las bases para acometer mejor la Revolución Industrial. Este siglo, presencia también el giro de la Agricultura de la ganadería ovina al cereal y el vacuno en el Norte, recortando severamente los poderes de la Mesta bajo la creciente presión demográfica.

La Revolución Industrial presenció hasta la introducción del ferrocarril en 1848 y su vertiginoso desarrollo en las dos décadas siguientes, una prolongación de las mismas circunstancias retardadoras que en el XVIII, agudizadas por el desastre que supuso la invasión napoleónica de 1808. El problema del transporte derivado de los frenos físicos siguió a pesar de los frustrados intentos ilustrados de construcción de canales como el de Castilla, terminado por las endémicas dificultades fiscales cuando el ferrocarril ya dejaba sentir su efecto, o de la introducción en el XVI del ganado mular, ampliamente contestado por otra parte. La producción agrícola cerealista, conoció una nueva extensión de las roturaciones con las Desamortizaciones civil y eclesiástica, que no sirvieron para extender la propiedad campesina y el poder de consumo para la naciente industria. Los rendimientos, permanecieron básicamente estancados a lo largo del siglo XIX: 6,3 quintales/Ha en 1800 y 6,2 en 1860, tras los rendimientos decrecientes de las nuevas roturaciones marginales, y 8 quintales en 1900. El porcentaje de población agraria, siguió básicamente esta tendencia de estancamiento. Sólo el importante desarrollo de la agricultura del olivo y la vid, y desde 1870 de los cítricos, escapan a este panorama desolador. Las consecuencias sobre el progreso del mercado y ahorro interior, son obvias.

La inexistencia de carbón en el Mediterráneo, frustró la posibilidad de una industria de base en este área. El caso de la siderurgia malagueña de Heredia en la primera mitad del XIX, fundada primero en el carbón vegetal e incapaz de competir tras su reconversión por los costos del carbón debidos al transporte, es significativo, como el sector textil catalán, que por la carestía del carbón debió moverse a las ríos pire-

naicos. Los costos del carbón asturiano, y la falta de carbones coquizables hicieron que los hornos altos vizcaínos se abastecieran de carbón inglés traído con el retorno de los buques que llevaban el mineral de hierro. Los transportes y la deficiente calidad del hierro leonés (fósforo y ley baja) frustraron los proyectos para una gran siderurgia interior en El Bierzo.

En cuanto a **energía hidráulica**, España ocupaba en 1984 el cuarto puesto de Europa, tras Italia, Francia y Alemania en cuanto a potencial específico (6,6 Terawatios/Km²) y el tercero en cuanto a generación (33 millones de Terawatios). Esta energía se distribuye desigualmente, penalizando a la España meridional, pero la abundancia de montañas interiores que posibilitan saltos y cerradas para presas, es en esto una ventaja¹⁷. La energía hidráulica fue aprovechada para la industria principalmente por Cataluña y en ciudades industriales como Alcoy en el XIX. La Segunda Revolución Industrial (1885-1960), la de la Electricidad, representaría una nueva oportunidad.

La **minería metálica** representó una clara oportunidad en este periodo, desigualmente aprovechada. La pertenencia de España al ámbito geográfico europeo, nos favoreció. Los ricos yacimientos vizcaínos, situados junto a la ría del Nervión en el punto más cercano al centro de gravedad de la Europa Atlántica, fueron la condición necesaria del proceso de industrialización vasco. En contra de la teoría tradicional de localización siderúrgica junto al carbón, Asturias experimentó un limitado despegue siderúrgico, a pesar de fábricas que utilizaron tempranamente el coque a mediados del XIX como Trubia, caso similar al de León con San Blas. Las cuencas mineras como Linares-La Carolina, Almadén, Peñarroya o Puertollano, dieron origen a discretas realizaciones industriales, que en todo caso no tuvieron poder de difusión geográfica. Igual sucedió con Río Tinto, que hubiese podido generar una industria química de base en torno a las piritas, la zona de La Unión en Murcia o Reocín, junto a Torrelavega. La acción de las tres multinacionales minero-metalúrgicas que se originaron a partir de los yacimientos españoles, Río Tinto, Peñarroya y la Real Compañía Asturiana de Minas, inglesa, francesa y belga respectivamente, no fue capaz de dinamizar la industrialización regional. En todo caso,

los minerales, segundo rubro exportador tras la agricultura mediterránea, representaron una positiva contribución al desarrollo.

La **agricultura mediterránea** fue un factor positivo en las zonas mediterráneas y Andalucía, contribuyendo al proceso de crecimiento de Valencia, basado en los cítricos tras la plaga del gusano de seda. La estructura de la propiedad, producto en buena medida del despojo realizado por Fernando III El Santo entre los hispanomusulmanes, frenó sin duda la posibilidad de desarrollo en la Baja Andalucía, que contando con mayores posibilidades naturales que ninguna otra región, aún arrastra las secuelas de su retraso diferencial.

El balance final es un país que no despega globalmente hasta los 60 en el siglo XX, cuyo PIB por habitante se separa en el período 1800-1860, paralelamente a Italia, de la Europa Atlántica, con un 65% de la población dedicada a la Agricultura y una tasa de analfabetismo similar en 1900. El proceso de incorporación definitiva a la industrialización, debería aguardar tras una primera mitad del siglo XX de estructuración lenta de sectores y limitado crecimiento, al efecto de arrastre en los 60 de una Europa Atlántica en fuerte crecimiento. En este siglo, los frenos derivados del Medio Físico han sido corregidos, que no eliminados, y las oportunidades, aprovechadas de forma desigual pero creciente.

MEDIO FISICO, OCIO Y TURISMO

La importancia de este nuevo sector económico data de los últimos cuarenta años y ha sido producto del desarrollo económico-social. En el plano social, sus antecedentes se encuentran en la implantación de las vacaciones anuales pagadas establecidas en Francia por el gobierno del Frente Popular en 1935 y la llamada semana inglesa.

El crecimiento en España del turismo extranjero ha sido espectacular, ya que de 1.263.197 visitantes de 1951 se ha pasado a unos 60 millones en 1996. Esto supone un crecimiento anual acumulativo de casi el 9%, el 11% en cuanto a ingresos, muy superior al de la economía. El turismo interior, ha crecido igualmente de forma sustancial al compás del crecimiento económico y la difusión del automóvil desde los 60.

La dependencia de este nuevo sector del Medio Físico resulta evidente.

En primer lugar está el **hecho climático**. El número de horas de sol, está en torno a 3.000 en la mitad Sur o las islas, frente a valores un 50% inferiores en la Europa Atlántica. Igualmente, las temperaturas medias anuales son superiores por efecto de la latitud. Lo mismo pasa con el número de días de lluvia, del orden de 60 en el Sur y Levante frente a casi el triple en la Europa Atlántica.

Por otra parte, España y especialmente sus islas cuentan con **abundantes costas**. El desarrollo turístico se ha concentrado en las costas mediterráneas, y el hecho de que Baleares y Canarias hayan pasado a ser economías turísticas, parece indicar que el factor costas ha sido junto al sol determinante del tipo de turismo que sigue predominando ampliamente: el de playa.

Resulta obvio por otra parte la importancia de que España sea, **aunque periférica, parte de Europa**, ya que este hecho hace que los costos del transporte sean más asumibles por los turistas de la Europa Atlántica, fuente abrumadora de los mismos (86,31% en 1993).

En la óptica planteada hace años ya de una oferta de turismo ecológico, España tiene oportunidades importantes brindadas por su Naturaleza. De un lado está la variedad de paisajes, fruto del relieve y el clima en última instancia; de otro la mayor variedad europea de Flora y Fauna. El alto porcentaje de superficies protegidas, que en algunas Comunidades Autónomas supera el 20%, es un indudable factor positivo. El propio tamaño del país y su variedad cultural, ligada a la del Medio Físico, pueden coadyuvar en esta tarea.

La Naturaleza, que no había sido especialmente generosa en milenios, vino a través del turismo a prestar una ayuda valiosa para que en los 60 España diera el salto definitivo al desarrollo.

MEDIO FISICO Y DESARROLLO URBANO

El aumento porcentual de la población urbana, ha sido paralelo al del desarrollo en todos los países industrializados y es uno de sus índices.

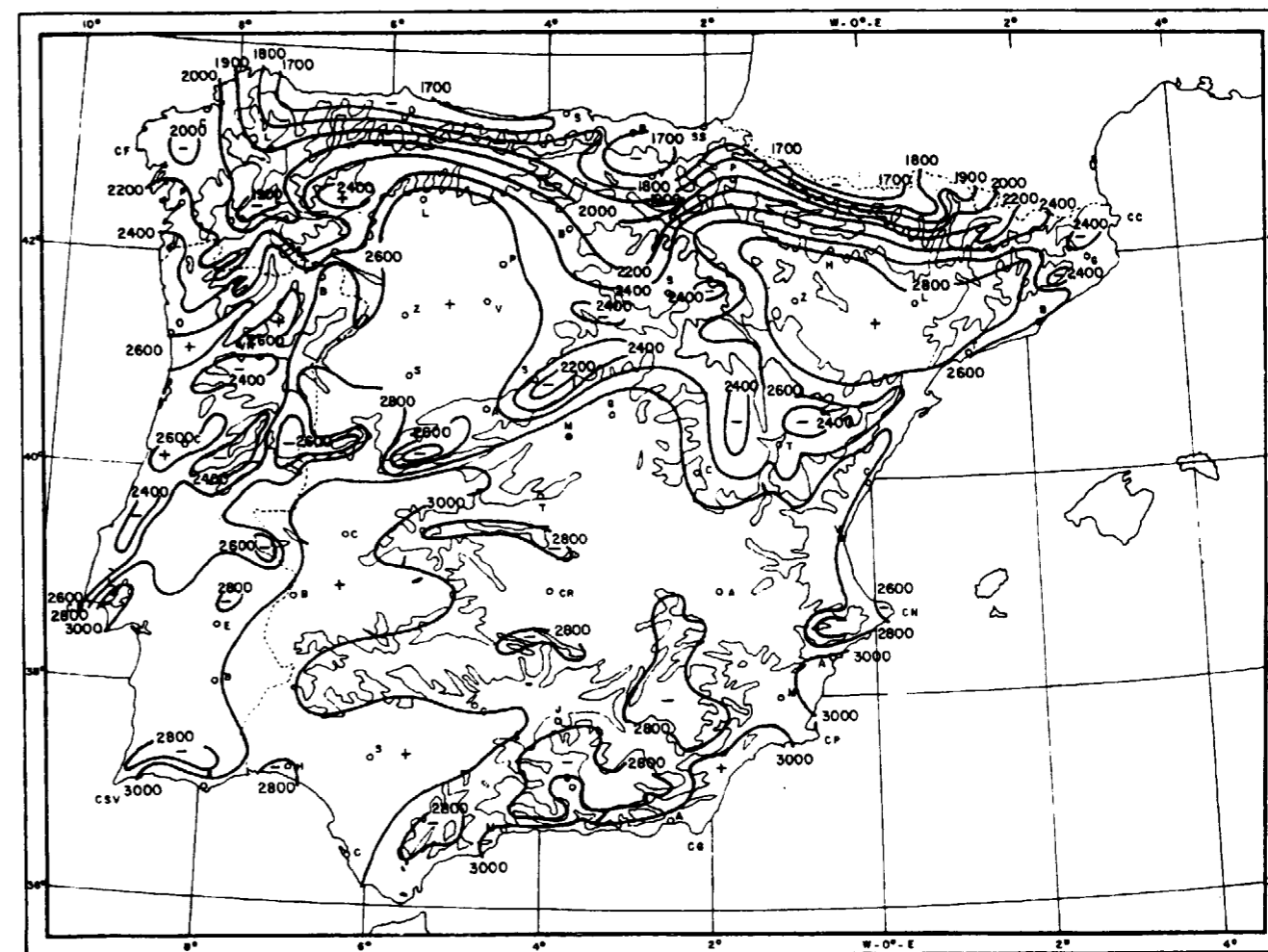


Fig. 8. Horas de insolación directa anual, que, junto a las costas y el carácter de periferia europea, son los condicionantes físicos favorables al desarrollo turístico o la hortofruticultura temprana (Font Tullot, I., 1983).

El crecimiento de la población urbana en España fue muy lento en la primera mitad del XIX, pasando del 14% al 16% entre 1820 y 1857, doblándose en la segunda mitad hasta representar el 32%⁴²; el crecimiento fue especialmente intenso en el período 1920-40 (del 39% al 49%) y 1960-70 (del 56% al 66%); en 1980 representaba el 73,2% de la población española.

Como se ha indicado⁵, desde el XVIII, el crecimiento de la población tendió a concentrarse en la periferia, por importantes razones procedentes del Medio Físico, especialmente las oportunidades que representaba un transporte mucho más barato, la concentración periférica de los minerales, la agricultura del olivo y frutos o la atlántica de Galicia. Esta tendencia ha proseguido durante el pe-

riodo de crecimiento acelerado de los 60 y posteriormente, apoyado en este caso también en un sector claramente dependiente del Medio Físico: el turismo. Fruto de esta realidad es la densidad de población mucho mayor en las costas que en el interior y el consecuente mayor crecimiento de las ciudades costeras frente a las interiores.

Los dos hábitats fundamentales de las ciudades españolas tradicionalmente, han sido las **costas** (portuarias) y los **valles fluviales interiores**. Esto ha sido así porque históricamente, las ciudades han tenido dos condicionantes esenciales para su subsistencia: agua y una producción de excedentes agrarios en su área de influencia⁴³. Gracias al transporte marítimo barato, las ciudades costeras o con vías navegables tuvieron un

área de influencia para su alimentación muy superior a la de las ciudades del interior dependientes del transporte terrestre, y más oportunidades de especialización.

Muchas ciudades españolas tienen una historia milenaria, bien desde la Antigüedad (Cádiz, Málaga, Cartagena, Tarragona, Barcelona, Zaragoza, Toledo, etc.), bien desde la Edad Media (Madrid, Burgos, etc.). Los emplazamientos, fueron buscados por sus condiciones físicas, fueran aptitud defensiva o militar, fueran facilidades de transporte, centralidad, etc. Las ciudades-capital españolas en la Historia, Toledo y Madrid, fueron buscadas por su centralidad. Otras, como Sevilla, con un puerto fluvial que daba salida a la más rica región de la Antigüedad, el Valle del Guadalquivir,

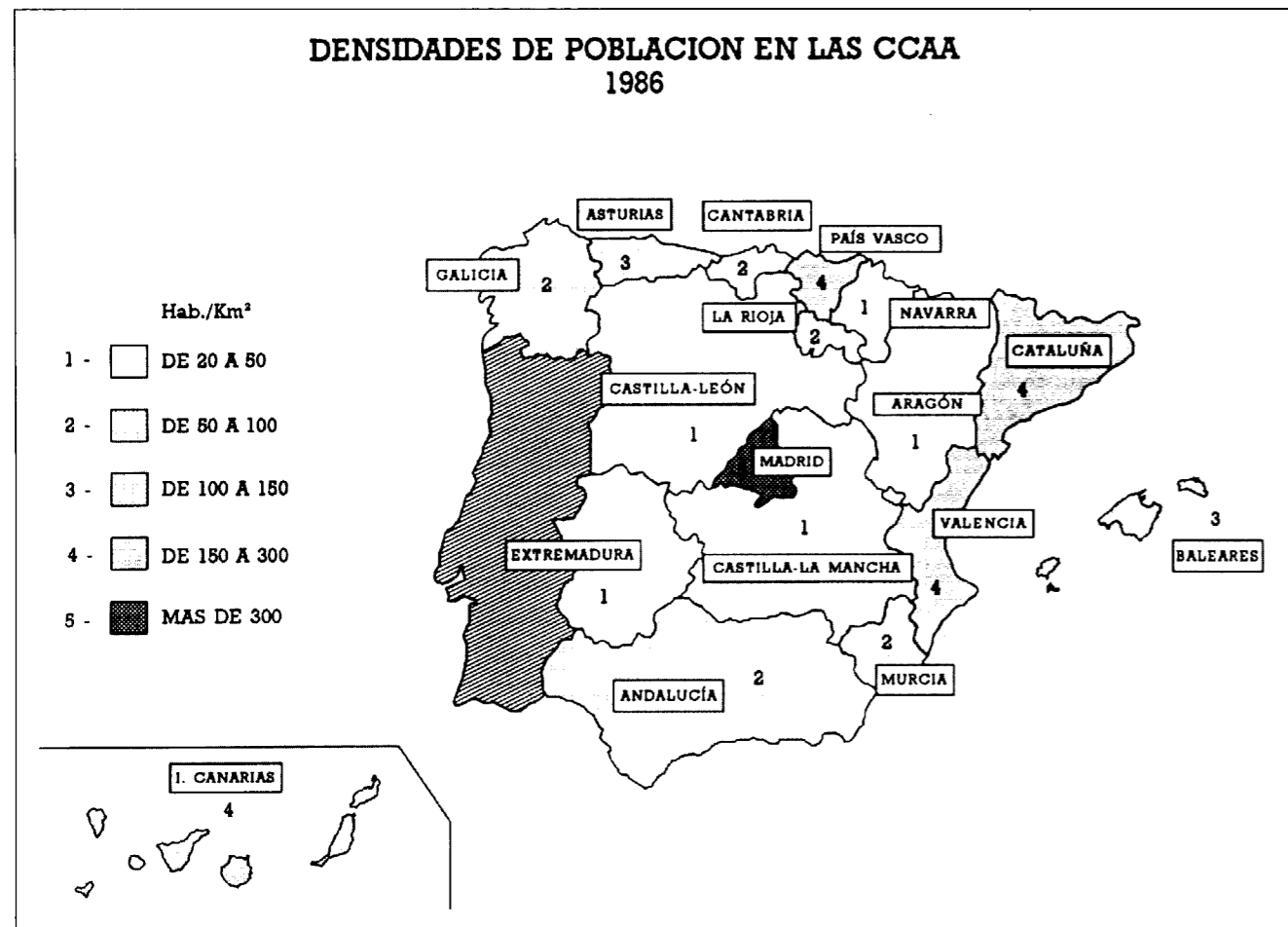


Fig. 9. Distribución de la población por Comunidades Autónomas que pone de relieve el desequilibrio demográfico y económico entre el interior y la periferia, fuertemente condicionado por factores físicos.

por razones de transporte y económicas. Un caso similar sería el de Bilbao, que creció espectacularmente en la segunda mitad del XIX por su proximidad a los yacimientos de hierro y su puerto en la Ría. Otras se desarrollaron históricamente en los ecotonos, las zonas de transición llanura-montaña, punto de encuentro de economías complementarias, como Aguilar de Campoó o Astorga. El centro de gravedad de la economía lanera de la Baja Edad Media, empujó el crecimiento de Medina del Campo, ciudad-mercado con sus ferias, por su centralidad, o el de Burgos, la ciudad castellana mejor comunicada con la Europa Atlántica, centro organizador con su Consulado del Mar de los embarques laneros a la Europa Atlántica. Linares, Puertollano y Almadén crecie-

ron como ciudades mineras e industriales y Huelva como ciudad portuaria y vía de salida de la Minería onubense. Valencia, como Murcia, crecieron a partir de sus ricas huertas, Oviedo como ciudad administrativa relativamente centrada en Asturias. Segovia y Cartagena como ciudades militares.

En todos los casos, el Medio Físico, por una u otra razón desempeñó un papel importante en su localización inicial y evolución. Actualmente el transporte y la situación han pasado a ser a menudo elementos principales del potencial de crecimiento, que **privilegia ejes como el del Ebro y la costa mediterránea**, a diferencia de zonas con relieve como la Cornisa Cantábrica, o interiores con escaso potencial demográfico debido en

parte no despreciable a factores físicos como los bajos rendimientos agrarios o el aislamiento.

UN SALDO FISICO GLOBAL DESFAVORABLE A LA INDUSTRIALIZACION

Para evaluar cualitativamente la incidencia del Medio Físico en el desarrollo español, es necesario tener en cuenta la evolución histórica del entorno geopolítico, ya que se trata en definitiva de una evaluación comparativa.

En este sentido, **hay que distinguir dos grandes periodos: el mundo antiguo y el medieval de un lado, con centro de gra-**

MEDIO FISICO Y DESARROLLO EN ESPAÑA				
SECTOR ECONOMICO/SOCIAL	EFECTOS		BALANCE GLOBAL VS. EUROPA ATLANTICA	
	FAVORABLES	DESFAVORABLES	Despegue (XIX)	Hoy
AGRICULTURA, GANADERIA, PESCA Y MONTES	Valles aluviales (suelo+agua) Norte: clima húmedo España mediterránea e interior Insolación y temperatura alta (cultivos tempranos/regadío) Acuíferos en 30% territorio Pesca aceptable (pero insuficiente)	España interior y mediterránea Clima mediterráneo seco Altitud de la Meseta (continentalidad) Suelos delgados y con pocos nutrientes Régimen fluvial con estiajes Sequias frecuentes Norte: relieve (falta suelo arable)	Negativo	Variable (+ costa mediterránea, y SO. interior)
TRANSPORTE Y COMERCIO	Puente euroafricano y euroamericano Papel conectivo de la Meseta Desarrollo costero	Periferia mediterránea y europea Tamaño y forma Cadenas montañosas frecuentes y costeras/Pirineos Falta de rios navegables Falta de entrantes y buenos puertos costeros	Negativo	Negativo
INDUSTRIA	Energía hidráulica y carbón Minerales metálicos e industriales Lana abundante	Escasez de animales de tiro y leña Carbón insuficiente y/o caro Falta de gas y petróleo Yacimientos minerales periféricos Alto costo de regulación de la energía hidráulica Altos costos del transporte	Negativo	Negativo
DESARROLLO URBANO	Abundancia de todo tipo de emplazamientos Abundancia de terreno	Bajos rendimientos agrarios en la España seca Baja densidad demográfica Altos costos de transporte	Negativo	Variable
OCIO Y TURISMO	Bio y Geodiversidad altas Clima mediterráneo Desarrollo costero Puente euroafricano y euroamericano	Periferia europea-costos de transporte	Indiferente	Positivo
DESARROLLO POLITICO	Conectividad de la Meseta Doble carácter mediterráneo y atlántico Puente euroamericano y euroafricano	Aislamiento interior-periferia Aislamiento vs Europa Abundancia de Regiones naturales-Dificultades de transporte (alta diferenciación política-baja cohesión) Dificultades naturales para el desarrollo económico-demográfico y formación del mercado nacional	Negativo	Negativo

vedad geopolítico en el Mediterráneo, y el mundo posterior a 1500, con centro geopolítico Atlántico.

Por otro lado, un factor de freno claro a tener en cuenta que ha sido permanente en todo el proceso histórico es **el transporte interior, el más desfavorable de toda Europa**, mediterránea y atlántica. Sólo un país, Suiza, posee condiciones peores, pero quedan en parte compensadas por su pequeñez y situación estra-

tégica; en los casos griego o italiano la cercanía del mar y el menor tamaño, compensan parcialmente las dificultades físicas del transporte interior.

Como antes se ha expuesto, España compite aceptablemente en el mundo mediterráneo por su mayor tamaño y la **mayor riqueza mineral y pesquera**, que han atraído sucesivamente a todos los pueblos mediterráneos. La riqueza comparativa en olivo, vid y trigo es también

mayor que la de Italia (salvo el Po) y Grecia y Francia (salvo trigo). No es extraño que, especialmente en el mundo antiguo, fueran alabadas las riquezas de Iberia. Ciertamente, la zona privilegiada por esta situación fue la fachada mediterránea, y especialmente la Bética, probablemente la región más rica del mundo antiguo; el interior, y muy especialmente el Norte, quedaron en buena parte al margen de esta situación.

En la Edad Media, desmembrado el Imperio Romano de Occidente, el centro geopolítico, aún hasta el año 1000 en el Mediterráneo por la expansión musulmana, gira progresivamente hacia la Europa Atlántica, que experimenta una Revolución Agraria ensanchando su base económica, favorecida también por el Pequeño Optimo Climático Medieval. La temprana instalación de la Pequeña Edad Glacial en la Europa Atlántica hacia 1.300 y la Peste Negra, frenan este proceso, y ayudan diferencialmente a los países mediterráneos (en el caso de las Repúblicas italianas, enriquecidas por el comercio con Oriente controlado por Venecia), que a partir del XVI, entran en la Pequeña Edad Glacial, que persistirá con dureza hasta 1750, empeorando los rendimientos agrarios.

En el período Protoindustrial (1500-1765), España, cuyo población se mantiene en torno a los 6 millones desde el Imperio Romano en un estado de equilibrio milenar con sus recursos y potencialidades, y los países mediterráneos, tanto el Imperio portugués como Italia, se retrasan respecto a la Europa Atlántica, que comienza un período de crecimiento, leve, pero relativamente sostenido. Las producciones mediterráneas, o no encuentran mercado, como el aceite, o están demasiado gravadas por el transporte para competir y la ventaja lanera no es aprovechada para el montaje de un sector textil competitivo; las de la Cornisa Cantábrica, región montañosa, tampoco son competitivas, sólo las herrerías vascas y pirenaicas compiten. El estímulo americano, por razones principalmente institucionales en el período de los Austrias, se transforma en fuente de vicios fiscales y económicos gracias al monopolio de mercado que sirve a menudo para potenciar a intermediarios encareciendo los productos y frena el propio desarrollo americano y español. En este período la desventaja diferencial del caro transporte interior y el carácter periférico respecto a la Europa Atlántica, dejan sentir su peso, aún mayor por el desarrollo de la navegación interior en los otros países europeos.

El proceso que desengancha definitivamente al conjunto de los países mediterráneos, ya retrasados, del desarrollo, es la Revolución Agraria que se produce en los países atlánticos propiciada por su clima, entre 1650-1750⁴⁵, y de la cual los países mediterráneos, por razones

estrictamente físicas, quedaban excluidos. La imposibilidad de este proceso, aplazó a la segunda mitad del siglo XX el verdadero despegue de España e Italia. España, como Portugal y en grado algo menor Italia, creció por habitante claramente menor que la Europa Atlántica.⁴⁶

Dentro de esta situación, respuestas al reto físico, irían germinando sectores como el agrícola mediterráneo de vino y frutas que encontraría oportunidades en el crecimiento cualitativo del consumo de la Europa Atlántica; el minero-metalúrgico, que propiciaría la formación del primer núcleo de industria pesada en Vizcaya y contribuiría de forma creciente a la financiación del Estado; el textil catalán que aprovecharía el fuerte crecimiento demográfico del XVIII y XIX y el pesquero, que iría creando una industria conservera competitiva. España, también se iría dotando de infraestructuras, como el ferrocarril o las hidráulicas, que contribuirían a disminuir los frenos físicos para el desarrollo, y aprovechar ventajas como los productos tempranos o la electricidad. El campo, gracias al abonado y la vertedera a principios de siglo⁴⁸ y la mecanización en los 60-70, mejoraría sus rendimientos en cereales, aunque sin cerrar la brecha con los de la Europa Atlántica. En 1994, el saldo neto del sector agrario y pesquero en el comercio exterior fue un excedente de 0,21 billones, 3,5 por mil del PIB, representando el 6,6% de las exportaciones.

Ya en la segunda mitad de siglo XX, la Naturaleza, a través del sol, las playas y la relativa cercanía a la Europa Atlántica, posibilitaría la explosión turística, factor importante en el despegue de los 60, y hoy una de las principales industrias del país. (1,97 billones de ingreso neto en 1993, el 3,2% del PIB).

Uno de los resultados de todo este proceso, fuertemente condicionado por los frenos físicos, sería el **desequilibrio interior-periferia, que lejos de contenerse, sigue despojando el interior desde el siglo XVIII.**

Estas reflexiones en torno a la contrastación de la hipótesis de los frenos físicos al desarrollo en España, durante la era de hegemonía Atlántica principalmente, que creo queda suficientemente demostrada, pienso deberían introducir definitivamente este dato fundamental en las discusiones existentes al res-

pecto, cuya amplitud temática es y debe ser, como al principio señalaba, y otros antes que yo han recalcado⁴⁹, más amplia. Baste señalar al respecto, sin ánimo exhaustivo, temas como el peso relativo de los factores endógenos (físicos, económicos, institucionales) y exógenos (dependencia externa) el abanico de factores productivos y de consumo o la explicación del porqué del retraso de una región como Andalucía, que contaba a priori con los menores frenos físicos al desarrollo. Todo ello, como el porqué el sector exportador del XIX transmitió mal el crecimiento al resto de la Economía, remite a la necesidad de planteamientos globales, que en todo caso, no deberían contribuir a oscurecernos la comprensión de nuestra Historia, sino justamente a destacar los factores principales como el contrastado.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea resaltar el valor de las conversaciones sobre el tema con el Dr. Steven L. Driever de la Universidad de Missouri-Kansas City, para la clarificación de algunas de las ideas expuestas. Igualmente a Ana Díez Montero por su paciente mecanografía.

REFERENCIAS

1. KUZNETS, S. (1966). Modern Economic Growth: Rate, Structure and Spread. Yale University Press. EE.UU.
2. BENKO, FRANÇOIS (1970). La Ciencia de la Sociedad Global. Monte Avila. Ed. Caracas.
3. HARRIS, MARVIN (1979). Cultural Materialism. Random House Inc. EE. UU. Trad. en Alianza 1982.
4. MALLADA, LUCAS (1882). Causas de la pobreza de nuestro suelo. Bol. de la Soc. Geográfica de Madrid. Año VII, nº 2.
5. VICENS VIVES, J. Ed. (1972). Historia de España y América Social y Económica. 2ª Edic. Vicens Vives. Barcelona.
6. ANES, GONZALO (1970). Las crisis agrarias en la España Moderna. Taurus. Madrid.
7. NADAL, JORDI (1975). El fracaso de

la Revolución Industrial en España, 1814-1913. Ariel. Barcelona.

8. TORTELLA, GABRIEL (1992). La historia económica de España en el siglo XIX: un ensayo comparativo con los casos de Italia y Portugal, In "El desarrollo económico en la Europa del Sur: España e Italia en perspectiva histórica", Prados de la Escosura, L. y Zamagni, V. Eds. Alianza. Madrid.

9. MILWARD, A.S. y SAUL, S.B. (1977). The Development of the Economies of Continental Europe, 1850-1914. George Allen & Unwin. Londres. Trad. en Tecnos.

10. SIMPSON, JAMES (1992). Los límites del crecimiento agrario: España, 1860-1936. In "El desarrollo económico en la Europa del Sur: España e Italia en perspectiva histórica", Prados de la Escosura, L. y Zamagni, V. Eds. Alianza. Madrid.

11. RINGROSE, D.R. (1970). Transport and Economic Stagnation in Spain, 1750-1850. Durham. Trad. española en Tecnos.

12. GOMEZ MENDOZA, ANTONIO (1985). Transportes y crecimiento económico, 1830-1930. In "La modernización económica de España 1830-1930". Sánchez Albornoz, Nicolás, Ed. Alianza. Madrid.

13. PRADOS DE LA ESCOSURA, LEANDRO (1992). Crecimiento, atraso y convergencia en España e Italia: introducción. In "El desarrollo económico en la Europa del Sur: España e Italia en perspectiva histórica", Prados de la Escosura, L. y Zamagni, V. Eds. Alianza. Madrid.

14. GALASSI, FRANCESCO Y COHEN, JON S. (1992). La agricultura italiana, 1860-1930. In "El desarrollo económico en la Europa del Sur. España e Italia en perspectiva histórica", Prados de la Escosura, L. y Zamagni, V. Eds. Alianza. Madrid.

15. CABO, ANGEL (1973). Condicionamientos geográficos. In "Historia de España Alfaguara". Artola, Miguel Ed. Vol. I. Ed. Alianza. Madrid.

16. LAUTENSACH, HERMANN (1967). Geografía de España y Portugal. Vicens Universidad. Barcelona.

17. HERNANDEZ-PACHECO, EDUARDO (1955 y 56). Fisiografía del Solar Hispano. Memorias de la Real Acad. de Ciencias de Madrid. Tomo XVI. 2 Vol.

18. MARTIN SANCHEZ-JULIA, F. (1955). Verdades fundamentales de la economía agraria española, Rev. Arbor. Madrid..

19. ROSTOW, W. W. (1963). Las etapas del crecimiento económico. Un manifiesto no comunista. Fondo de Cultura Editorial. México.

20. VICENS VIVES, J. (1950). Tratado general de Geopolítica. El factor geográfico y el proceso histórico. Vicens Vives Ed. Barcelona.

21. SOLE SABARIS, LUIS (1986). El relieve de la Península Ibérica. In "Geografía General de España". Terán, M. de, Solé, L. y Vilá, J. Ed. Ariel. Barcelona.

22. FONT TULLOT, INOCENCIO (1983). El Clima de España y Portugal, Instituto Nacional de Meteorología. Madrid

23. MASACHS ALAVEDRA, V. (1948). El régimen de los ríos peninsulares. CSIC, Inst. "Lucas Mallada", Barcelona.

24. MOPTMA (1992). Anteproyecto de Ley del Plan Hidrológico Nacional. Madrid.

25. PARDE, M. (1947). Le régime des cours d'eau iberiques. Pirineos nº 5, Zaragoza.

26. GIL EGEA, J. M^a (1995). El gran dilema hidrológico: convergencia o divergencia con Europa. In "El Agua", BBV. Bilbao.

27. DE BOLOS, MARIA (1986). La vegetación. In "Geografía General de España". Terán, M. de, Solé, L. y Vilá, J. Ed. Ariel. Barcelona.

28. ARRIBAS, ANTONIO (1965). Los iberos. Aymá, S.A. Barcelona.

29. INSTITUTO TECNOLOGICO GEOMINERO DE ESPAÑA (1988). Mapa Minero de España. Madrid.

30. INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1985). Actualización del Inventario de Recursos Nacionales de Carbón. Madrid.

31. ROSELLO, V.M. (1986). La pesca. In "Geografía General de España". Terán, M. de, Solé, L. y Vilá, J. Ed. Ariel. Barcelona.

32. TORTELLA, GABRIEL (1985). Producción y productividad agraria en España, 1830-1930. In "La modernización económica de España 1830-1930". Sánchez Albornoz, Nicolás, Ed. Alianza. Madrid.

33. CABO, ANGEL (1986). Agricultura y Ganadería. In "Geografía General de España". Terán, M. de, Solé, L. y Vilá, J. Ed. Ariel. Barcelona.

34. TAMAMES, RAMON (1969). Introducción a la Economía Española. Alianza. Madrid.

35. TUÑON DE LARA, MANUEL (1974). La España del siglo XIX. Leia. Barcelona.

36. GOMEZ MENDOZA, ANTONIO (1985). Los ferrocarriles en la economía española, 1855-1913. In "La Nueva Historia Económica de España", Martín Aceña, Pablo y Prados de la Escosura, Leandro, Eds. Tecnos. Madrid.

37. BOSQUE MAUREL, JOAQUIN (1986). Actividades terciarias. In "Geografía General de España", de Terán, M. Solé, L. y Vilá, J. Edit. Ariel. Barcelona.

38. MARTIN ACEÑA, PABLO (1981). España y el Patrón-Oro, 1880-1913. Hacienda Pública Española nº 69. Madrid.

39. NADAL, JORDI (1966). La población española. Siglos XVI a XX. Ariel. Barcelona.

40. FONT TULLOT, INOCENCIO (1983). Historia del clima en España. Itto. Nacional de Meteorología. Madrid.

41. OCDE/IAE (1986). Bilans energetiques des Pays de l'OCDE. París 1986.

42. CAPEL, HORACIO (1986). El poblamiento urbano. In "Geografía General de España", de Terán, M. Solé, L. y Vilá, J. Edit. Ariel. Barcelona.

43. TOYNBEE, ARNOLD (1971). Ciudades en marcha. Alianza. Madrid.

44. VILA VALENTI, J. (1986). La Población. In "Geografía General de España", de Terán, M. Solé, L. y Vilá, J. Edit. Ariel. Barcelona.

45. BAIROCH, PAUL (1971). Le Tiers-monde dans l'impasse. Le démarrage économique du XVIII^e et XIX^e Siècle. Gallimard. Paris. Trad. en Alianza, 1973.

46. CARRERAS, ALBERT (1985). Gasto Nacional Bruto y formación de capital en España, 1849-1958: primer ensayo de estimación. In "La Nueva Historia Económica de España", Martín Aceña, Pablo y Prados de la Escosura, Leandro. Eds. Tecnos. Madrid.

Pablo y Prados de la Escosura, Leandro. Eds. Tecnos. Madrid.

47. GRUPO DE ESTUDIOS DE HISTORIA RURAL (1985). Evolución de la superficie cultivada de cereales y leguminosas en España, 1886-1935. In "La Nueva Historia Económica de España", Martín Aceña, Pablo y Prados de la Escosura, Leandro. Eds. Tecnos. Madrid.

48. KOROTKOW, A. V. & PECK, T. J. (1993). Forest resources of the industrialized world; an ECE/FAO assessment. Unasylva vol. 44, n.º 174.

49. NADAL, JORDI (1992). Moler, tejer y fundir. Estudios de historia industrial. Ariel. Barcelona.

50. DIAZ-MARTA, MANUEL (1977). La Navegación Interior: posible desarrollo en la Península Ibérica. Toledo.

Original recibido: Diciembre 1996.

Original aceptado: Febrero 1997.

LA COLECCION DE MINERALES, ROCAS Y FOSILES DE LA ACADEMIA DE ARTILLERIA DE SEGOVIA

Por A. DIEZ HERRERO (*)

El acuartelamiento de San Francisco, ubicado en el interior del casco urbano de la ciudad de Segovia cerca del legendario Acueducto, acoge buena parte de las dependencias de la Academia de Artillería desde que en 1862 se produjera el incendio del Alcázar de Segovia, original ubicación de la misma. Un patio interior del exconvento sirve de marco a una pequeña nave decimonónica donde se impartían hasta hace unos años las prácticas de Química, pólvoras y explosivos. Allí, ubicadas en armarios de madera y metálicos, se encuentran unas 4.000 piezas de minerales, rocas, fósiles, aleaciones y fundidos.

En realidad no se trata de una única colección, sino la conjunción de varias con diferente naturaleza, composición y origen, que finalizaron confluyendo en la Academia de Artillería como material para las prácticas de Ciencias Naturales y Química. A grandes rasgos podríamos distinguir varias subcolecciones:

- Colección Principal. Compuesta por unas 2.300 piezas de minerales, rocas y fósiles, es el núcleo fundamental y más antiguo, integrado a su vez por diferentes conjuntos de piezas con variado etiquetado y soporte.

- Colección Secundaria. Formada por unas 486 piezas de minerales fundamentalmente, constituye un añadido posterior caracterizado por sus típicas bandejas de madera verde.

- Colecciones de la Comisión del Mapa Geológico de España. Se trata de dos conjuntos de 200 ejemplares cada uno,

(*) Area de Ingeniería Geoambiental, Instituto Tecnológico Geominero de España, Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid

integrados en la colección a finales del siglo XIX.

- Colección de aleaciones y fundidos. Compuesta por unas 125 piezas de restos de aleaciones metálicas (principalmente hierro y aceros) y escorias de fundición, fechables hacia mediados del siglo XIX.

Aparte existen una serie de piezas sueltas, o elementos dispersos de difícil asignación a cualquiera de las colecciones antes mencionadas, al carecer de etiquetado y haberse encontrado revueltos.

EL PASADO

La reconstrucción del origen e historia de todas y cada una de las subcolecciones que integran la Colección es tre-

mendamente complicada, ya que la mayor parte de la documentación de su compra, traslado o donación ha desaparecido con el paso del tiempo y eventos como el incendio del Alcázar en 1862. Sin embargo, a partir de expedientes localizados en diferentes archivos españoles, y de la consulta bibliográfica, hemos logrado componer una relación de hitos que pudieran relacionarse con la historia de la Colección.

La colección dieciochesca

Desde su fundación, en el año 1764, el Real Colegio de Artillería de Segovia, ya debió de contar para las clases prácticas con una modesta colección de minerales y rocas, relacionada con la fabricación de pólvoras y la metalurgia artillera.



Foto 1.- Vista general del aula-laboratorio de Química del Real Colegio a principios del siglo XX. Tras la mesa, y apoyados sobre la pared, se aprecian dos armarios de madera con las muestras de minerales y rocas que constituyen la Colección de la Comisión del Mapa Geológico de España.

LA COLECCION DE MINERALES, ROCAS Y FOSILES DE LA ACADEMIA DE ARTILLERIA DE SEGOVIA

Por A. DIEZ HERRERO (*)

El acuartelamiento de San Francisco, ubicado en el interior del casco urbano de la ciudad de Segovia cerca del legendario Acueducto, acoge buena parte de las dependencias de la Academia de Artillería desde que en 1862 se produjera el incendio del Alcázar de Segovia, original ubicación de la misma. Un patio interior del exconvento sirve de marco a una pequeña nave decimonónica donde se impartían hasta hace unos años las prácticas de Química, pólvoras y explosivos. Allí, ubicadas en armarios de madera y metálicos, se encuentran unas 4.000 piezas de minerales, rocas, fósiles, aleaciones y fundidos.

En realidad no se trata de una única colección, sino la conjunción de varias con diferente naturaleza, composición y origen, que finalizaron confluyendo en la Academia de Artillería como material para las prácticas de Ciencias Naturales y Química. A grandes rasgos podríamos distinguir varias subcolecciones:

- Colección Principal. Compuesta por unas 2.300 piezas de minerales, rocas y fósiles, es el núcleo fundamental y más antiguo, integrado a su vez por diferentes conjuntos de piezas con variado etiquetado y soporte.

- Colección Secundaria. Formada por unas 486 piezas de minerales fundamentalmente, constituye un añadido posterior caracterizado por sus típicas bandejas de madera verde.

- Colecciones de la Comisión del Mapa Geológico de España. Se trata de dos conjuntos de 200 ejemplares cada uno,

integrados en la colección a finales del siglo XIX.

- Colección de aleaciones y fundidos. Compuesta por unas 125 piezas de restos de aleaciones metálicas (principalmente hierro y aceros) y escorias de fundición, fechables hacia mediados del siglo XIX.

Aparte existen una serie de piezas sueltas, o elementos dispersos de difícil asignación a cualquiera de las colecciones antes mencionadas, al carecer de etiquetado y haberse encontrado revueltos.

EL PASADO

La reconstrucción del origen e historia de todas y cada una de las subcolecciones que integran la Colección es tre-

mendamente complicada, ya que la mayor parte de la documentación de su compra, traslado o donación ha desaparecido con el paso del tiempo y eventos como el incendio del Alcázar en 1862. Sin embargo, a partir de expedientes localizados en diferentes archivos españoles, y de la consulta bibliográfica, hemos logrado componer una relación de hitos que pudieran relacionarse con la historia de la Colección.

La colección dieciochesca

Desde su fundación, en el año 1764, el Real Colegio de Artillería de Segovia, ya debió de contar para las clases prácticas con una modesta colección de minerales y rocas, relacionada con la fabricación de pólvoras y la metalurgia artillera.

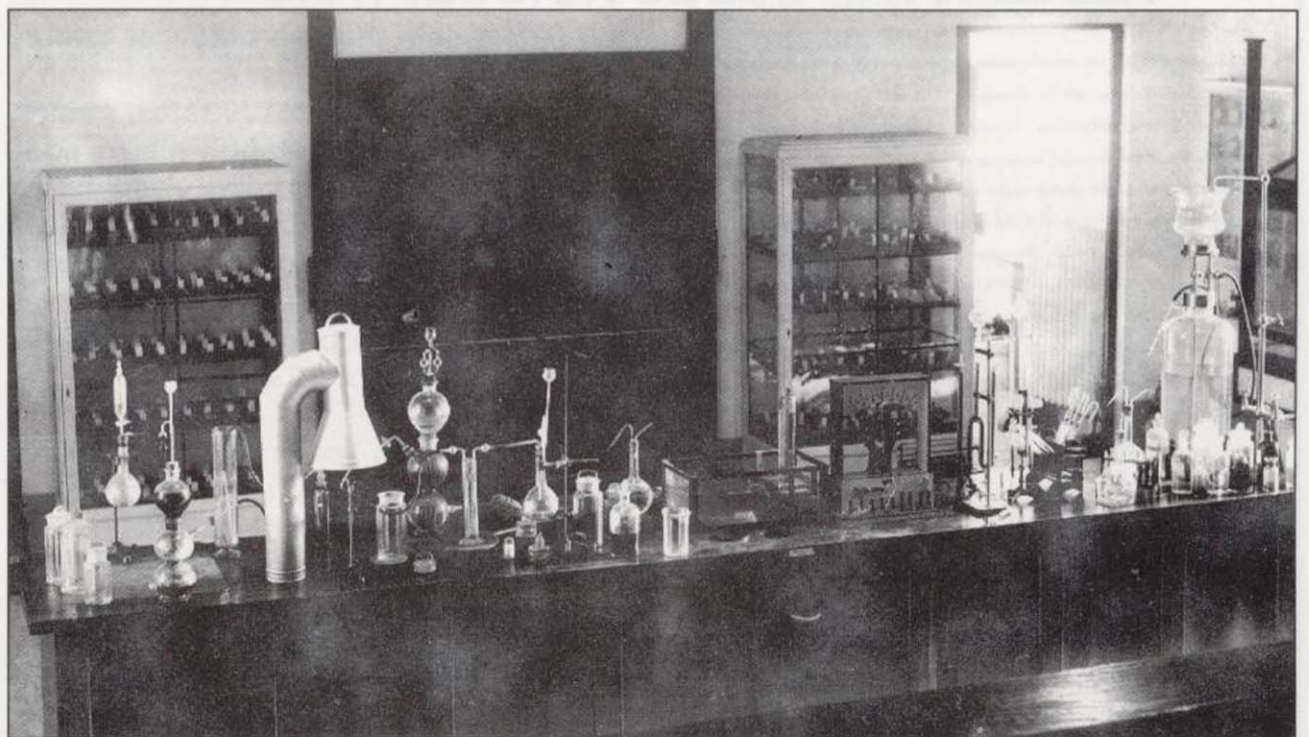


Foto 1.- Vista general del aula-laboratorio de Química del Real Colegio a principios del siglo XX. Tras la mesa, y apoyados sobre la pared, se aprecian dos armarios de madera con las muestras de minerales y rocas que constituyen la Colección de la Comisión del Mapa Geológico de España.

(*) Area de Ingeniería Geoambiental, Instituto Tecnológico Geominero de España, Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid

Uno de los problemas más graves de las industrias artilleras a mediados del siglo XVIII era la mala calidad de las materias primas utilizadas en la fabricación de piezas y las deficiencias del proceso previo de afinación, antes de fundirlas (Herrero, 1990). En los cañones de hierro de la Marina se comprobó que no era problema del método de fundición, sino de la inadecuada mezcla de minerales de hierro que se había venido empleando en los altos hornos. Igualmente, la heterogeneidad en calibres y en las proporciones de los cañones, causaba serios problemas en dotarlos de municiones y calcular las proporciones y calidades de las pólvoras precisas, estimadas hasta entonces de forma aleatoria.

Relacionada con toda esta problemática, surge a lo largo de la segunda mitad del siglo XVIII una inquietud por formar científica y técnicamente a los responsa-

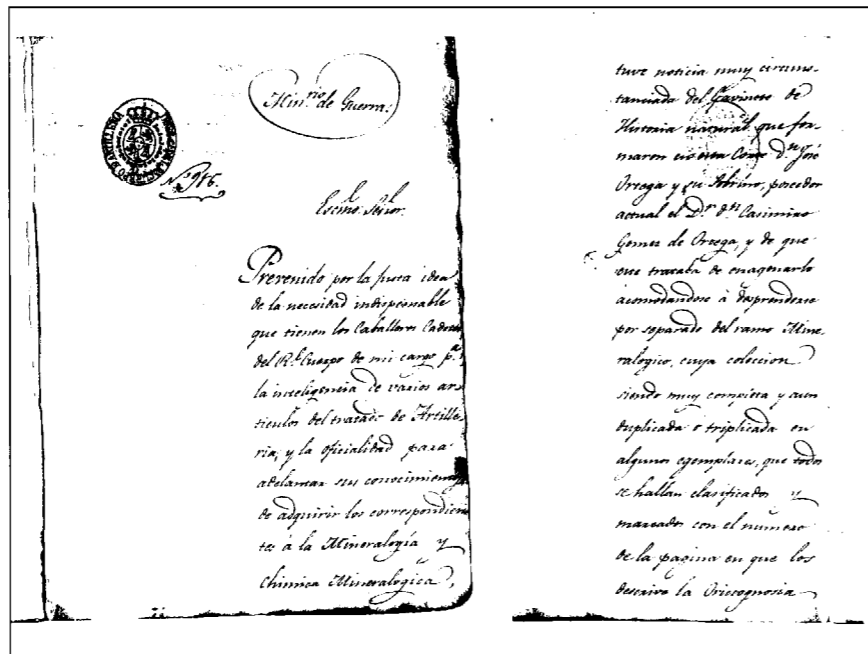


Figura 2.- Solicitud de permiso del General-Director García de Loygorri al Ministro de la Guerra en 1817, para la adquisición por parte del Real Colegio de Artillería del ramo mineralógico del gabinete perteneciente a Casimiro Gómez Ortega. Fuente: Archivo Histórico Militar de Segovia.

bles de estas industrias artilleras, principalmente desde los propios Colegios y Academias Militares. De hecho, en el plan de estudios de 1768 del Colegio de Artillería de Segovia, la asignatura de Táctica figuraba en 5º curso comprendiendo varios temas sobre estas materias.

Es de suponer, que ya entonces contaban en sus gabinetes con minerales como azufre y distintos nitratos, menas metálicas de cobre, estaño y hierro, además de carbonos minerales y vegetales. Algunas de estas piezas podían proceder de la entrega de enseres de las antiguas academias de Barcelona y Cádiz al Conde de Gazola para la Academia de Segovia en el año 1773.

Además, en 1767 se producía un hecho signficado: el paso a ocupar tareas docentes de D. Tomás de Morla, junto a Soprani y Rubín, como alumnos más aventajados de la primera promoción. Este ilustre artillero, que un año más tarde ocuparía plaza de profesor de apoyo, publicaría en 1784 su célebre "Tratado de Artillería". Un laboratorio químico muy similar al descrito en el artículo IX de dicha obra (tomo II) debió existir en el Real Colegio, pues el 4 de Agosto de 1783, el Conde de Lacy comu-

nicaba desde San Ildefonso que "esta terminado el Laboratorio de mixtos y fuegos artificiales".

Entonces, el Cuerpo de Artillería tenía a su cargo las salitreras y fábricas de pólvoras del país, por lo que podemos suponer un acceso directo a las minas de azufre y sales potásicas. Con objeto de atender las necesidades derivadas de su dirección, en 1784 se crea una "Escuela de Química y Metalurgia".

Otra importante aportación de piezas a la primitiva colección del Laboratorio de Mixtos pudo proceder de las piezas traídas o enviadas por los comisionados y expedicionarios al extranjero. Desde el reinado de Felipe V, con la expedición hispano-francesa al Perú con fines geodésicos, comienza una dinámica de enviar científicos, tanto a Europa como a Hispanoamérica, con objeto de mejorar sus conocimientos y perfeccionar su formación. Entre ellos abundan los artilleros, presumiblemente muy vinculados con su Academia.

Durante los reinados de Fernando VI, Carlos III y Carlos IV, varios artilleros son comisionados a las Minas de Freiberg (Sajonia), Irlanda, Inglaterra y Suecia. Sin duda alguna, entre ellos destaca el

en 18 de Octubre de 1788 donde, entre los "géneros" pide de París "Dos piedras de Iman, una mayor que otra"; y sobre todo, la solicitud de 9 de Octubre de 1790, donde pide de forma explícita una colección de minerales.

En Julio de 1791, el Conde de Floridablanca solicita al Vicedirector del Real Gabinete la confección de esta colección de minerales "sin menoscabo del R. Gabinete". Josef Clavijo se compromete a enviar ejemplares duplicados del citado Gabinete en número de 134, que son recibidos por Pedro Chenard para remitirlos a Segovia el 25 de Mayo de 1792. Los minerales pues, no llegaron para la inauguración del Laboratorio, el 1 de Febrero de 1792, hecho que Proust critica en el Prólogo de sus Anales:

"... y exceptuando las minas de plomo y azogue que debe este Laboratorio á la liberalidad de los Excelentísimos Señores Don Frey Antonio Valdes, y el Conde de Lerena, no se incluyen todavía en ellos ningunos de los procederes que pertenecen a la mineralización de los restantes metales: para ejecutarlos hubiera sido preciso tener sus minerales ..."

Aparte de las muestras referidas con anterioridad, Proust manejó para sus

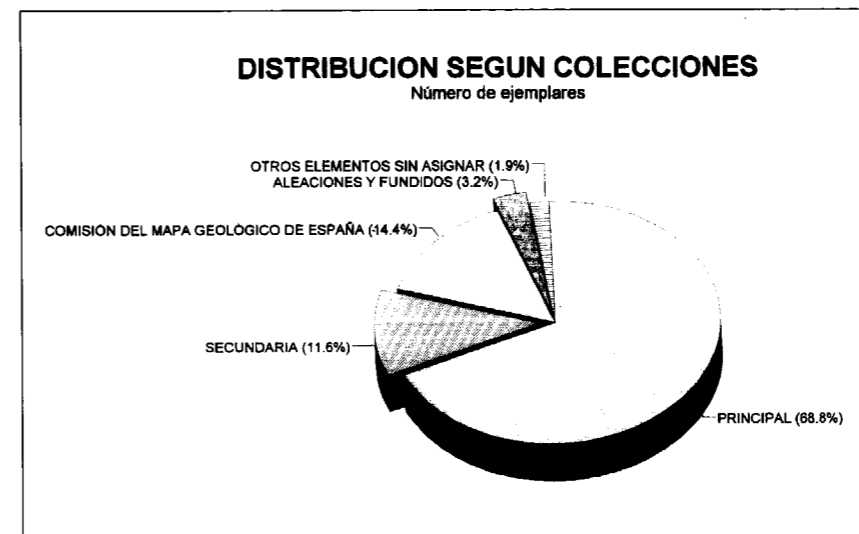


Figura 3.- Distribución de los ejemplares de la Colección dentro de las principales subcolecciones diferenciadas. Obsérvese que la denominada colección Principal acapara más de la mitad de las piezas.

viaje de los artilleros Jorge Guillelmi y Tomás de Morla, quienes se trasladan a Inglaterra, Irlanda, Sajonia, Prusia y Austria en 1787. Entre otras múltiples visitas en las que pudieron recoger muestras, destaca la realizada a las Ferrerías de Bradley (Inglaterra). La zona donde estaban las ferrerías tenía abundantes "lechos de carbón de piedra, alternados con otros de mina de hierro: el papel número 1 contiene una muestra de este mineral". El sistema de envío de muestras fue utilizado con asiduidad por estos artilleros. Además visitaron minas de hierro, fábricas de sal fosfórica y sal de amoníaco, y manufacturas de loza, pedernal, etc.

En el año 1785 comienzan las gestiones del Conde de Lacy, a quien sus contactos con científicos extranjeros le animaron a introducir la Química en la enseñanza de los cadetes de Artillería, para el traslado del francés Luis Proust (1754-1826) como profesor de la Academia. Tras diversas vicisitudes, llega a Segovia en 1786, donde emprende el diseño del edificio del Laboratorio y el aula de enseñanza, contiguo al Alcázar, en cuya construcción se invertirían más de dos años. Mientras, Proust realizó diversos viajes, entre los que destacan los efectuados a las minas de Linares, Almadén y Río Tinto, donde recogió muestras para analizarlas que posteriormente quedaron depositadas en la Colección de la Academia. Además rea-

lizó dos informes sobre cobres americanos y el estaño de Méjico, remitidos al ilustre químico Fausto Elhuyar.

Entre los enseres que Proust solicita al Conde de Lacy se encuentra una amplia relación de libros, algunos de ellos de célebres mineralogistas (Agrícola, Glauber, ...). También varias listas de útiles, de las cuales destacamos la fechada

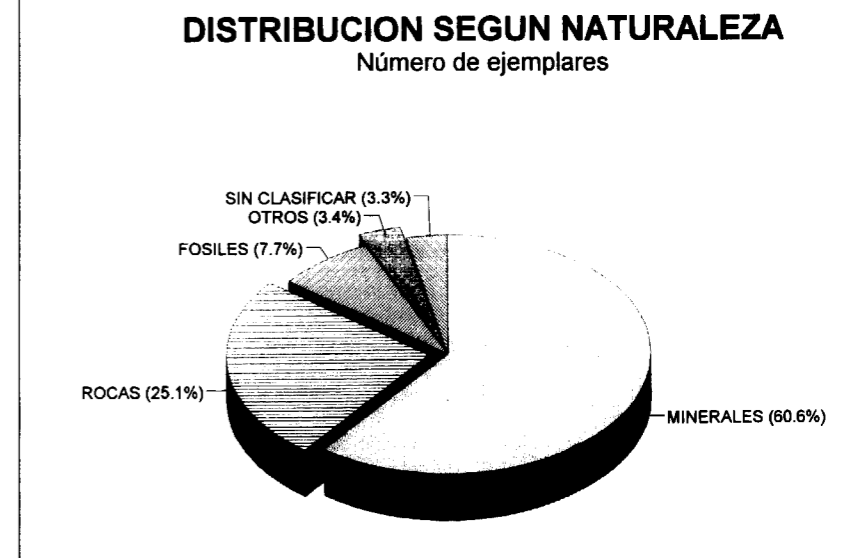


Figura 4.- Reparto porcentual de los ejemplares de la Colección acorde a su naturaleza, en minerales, rocas, fósiles, aleaciones y fundidos y otros (sustancias artificiales fundamentalmente).

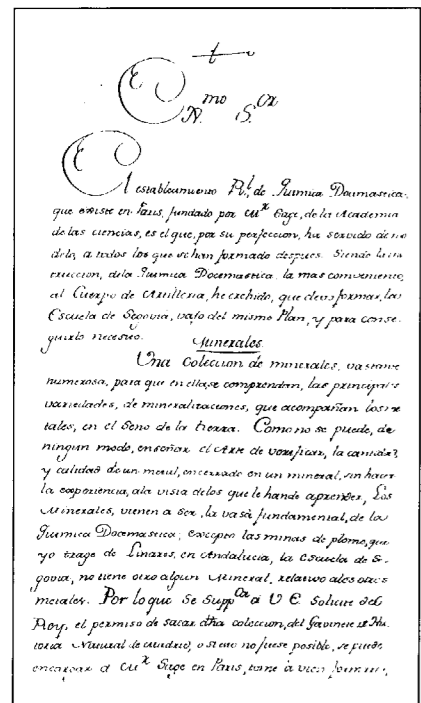


Figura 1.- Fragmento de la carta remitida por Luis Proust al Conde de Campo Alange en 1790 solicitándole material para la confección del Laboratorio de Química. En este apartado, se requiere el envío de una colección de minerales, que sería remitida desde Madrid dos años más tarde. Fuente: Archivo Histórico de Simancas; Guerra Moderna, 5695.

DISTRIBUCION SEGUN LA PROCEDENCIA

Número de ejemplares

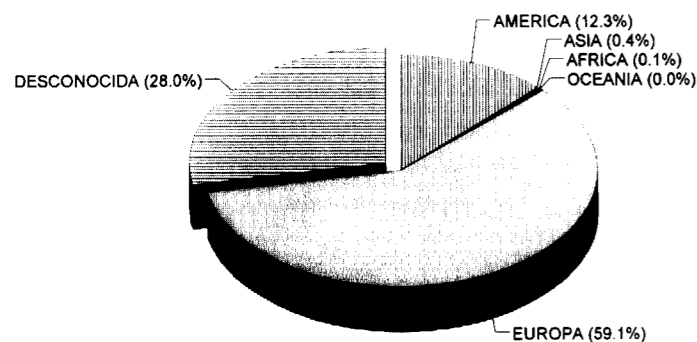


Figura 5.- Distribución según la procedencia de los ejemplares. Existe un neto predominio de las piezas europeas, y dentro de ellas de las españolas. Destaca la elevada proporción de ejemplares de procedencia desconocida por la pérdida de la documentación acreditativa.

"procederes" muchas otras muestras minerales que, al menos temporalmente, estuvieron depositadas en el Laboratorio de Segovia. No existe certeza absoluta de que los ejemplares que hoy en día se conservan de estas localidades correspondan a los traídos por Proust, ya que éste pudo llevarse los originales a la Cátedra de Química sita en la calle del Turco de Madrid, donde fue trasladado en 1799.

Con la marcha de Proust, el Laboratorio permaneció prácticamente cerrado hasta 1817, tras el fracaso de sucesivos intentos de reapertura, como el del General artillero Munárriz en 1801. La ocupación francesa obliga a la Academia a abandonar el Alcázar y comenzar un largo deambular por Guadarrama, Salamanca, Orense, Oporto, Lisboa y Huelva, para establecerse provisionalmente en Sevilla en 1809. Tras breves pasos por la Isla de León, Menorca y Palma de Mallorca, donde la Clase de Química era impartida por el farmacéutico D. Francisco Carbonel con material de Segovia y Madrid, vuelve a Segovia en 1814. En este largo peregrinaje, la Colección bien pudo sufrir añadidos o pérdidas de piezas.

El Gabinete de Historia Natural de José Hortega

Un año crucial en esta nueva fase viene marcado por la etapa del Teniente General D. Martín García de Loygorri como Director y Coronel General del Cuerpo de Artillería (1812-1822), y especialmente con el expediente del año 1817. En una carta de fecha 20 de Julio, dirigida al Secretario de Estado del Despacho de la Guerra, solicita la compra del ramo Mineralógico del Gabinete de Historia Natural de Don José Hortega y su sobrino, D. Casimiro Gómez Ortega.

Este documento, junto con la transcripción de fecha 23 de Julio, contiene una ingente cantidad de interesantísimos datos tanto de la finalidad como de la forma de realizar la compra; entre ellos, sobre el propio origen de la Colección que se adquiere, refiere el que ya aparece citada en el libro "La Lithologie et la Conchyliologie" de DeZallier D'Argenville, lo que remonta su existencia al menos al año 1742, fecha de edición de esta obra en París.

"La colección del Señor Hortega, boticario de Madrid, demuestra que

el maestro es docto en Historia Natural; no ha olvidado ninguna de las partes y puede enseñar a propósito de cada una, unas piezas muy curiosas."

En aquella época, en Europa, rara era la persona culta, noble o adinerada que no poseyera colecciones de los más diversos objetos naturales, denominados entonces Gabinetes de Historia Natural. Entre ellos, en 1745 tan sólo una docena eran dignos de reseña, pasando años más tarde muchos de ellos a formar parte de museos de los monarcas europeos (Emperatriz de Rusia, Emperador de Austria y Reales Gabinetes de Madrid) o de academias y sociedades científicas (Academia de Bolonia, Sociedad Real de Inglaterra y Academia de Ciencias de París).

No conocemos cuál fue el número de piezas y la composición del Gabinete de José Hortega, aunque sí nos consta, como se cita en la solicitud, que

"... siendo muy completa y aun duplicada o triplicada en algunos ejemplares, que todos se hallan clasificados y marcados con el número de la página en que los describe la Orictognosia de Videnmann, traducida por el Profesor Herrgen"

El único listado que existía del Gabinete que se iba a adquirir fue remitido a la Junta Superior Facultativa del Real Cuerpo de Artillería para su examen y aprobación, siendo su paradero desconocido. El Gabinete fue inventariado y recibido por D. Antonio de Bartolomé, Doctor de Química y Farmacia en Segovia. Junto a la compra, se solicita la creación de una cátedra de Química mineralógica, proponiendo a D. Alejandro Vicente Ezpeleza (discípulo de Proust y Herrgen) para la enseñanza de la Química, con especial aplicación al reino mineral, a los Caballeros Cadetes, "lo cual pertenece a solo la Orictognosia y se conseguirá con el gabinete". Esta compra constituirá el principal germen de la futura Colección.

José Hortega y Fernández nació en Añover de Tajo (Toledo) el 22 de octubre de 1703 y falleció en Madrid el 23 de enero de 1761, a la edad de 57 años. Primeramente tuvo una botica en su localidad natal, para pasar a Madrid a finales de 1728 o principios de 1729, por lo que obtuvo el título de boticario antes de los 25 años, edad que marcaba la ley.

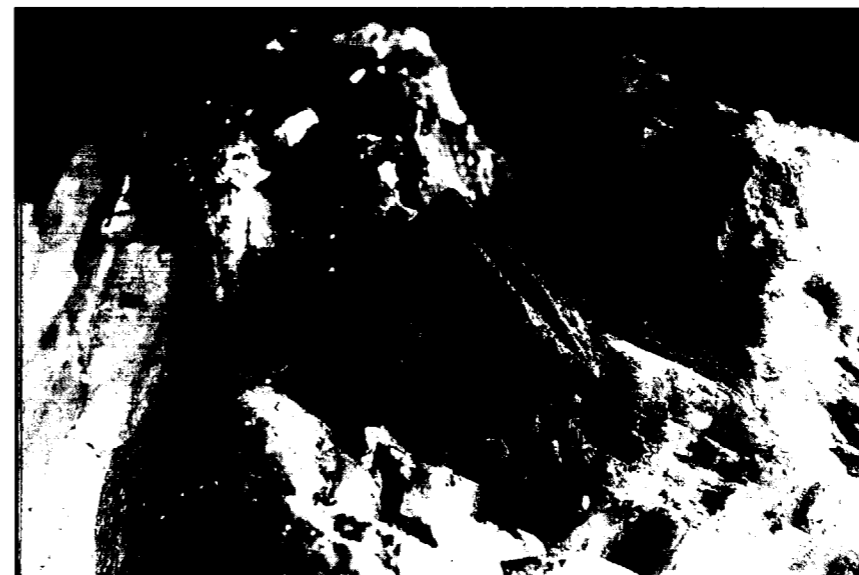


Foto 2.- Esmeralda (berilo, ciclosilicatos) sobre calcita y con pirita. Pieza integrante de la Colección Principal procedente de un yacimiento colombiano desconocido y con un espectacular hábito de cristalización. Foto: Miguel Romera.

Tras un corto período como mancebo o ayudante en la botica de Luis Llorente, contrajo matrimonio con su viuda, Mariana Aztina, tras la muerte de Llorente en 1728. En el año 1722, éste último poseía ya una botica en la calle Montera muy bien surtida de material e instrumental de laboratorio, géneros medicinales, especialmente químicos, y libros. Esta botica, que pertenecía anteriormente a Ignacio de la Peña, constaba tal y como refleja un inventario de 1711, de algunos minerales:

- Productos químicos y minerales: arsénico amarillo, azufre vivo, calomelanos, kermes (Quermes) Mineral, Nitro fijo, Piedra Infernal, Precipitado Verde, Tártaro Salubre Marcial, y Mortero de Piedra de S. Pablo.

- Productos animales: ámbar.
- Libros: 12 ejemplares.

Con su matrimonio, Hortega quedó al frente de esta botica, ampliando su biblioteca, instrumental y géneros, que bajo su dirección llegaría a ser una de las más prestigiosas de Madrid. Contaba con un laboratorio dotado de numeroso instrumental para operaciones químicas y de elaboración de medicamentos, y disponía asimismo de una amplia y selecta biblioteca.

El único inventario de su botica reali-

zado a la muerte de Hortega, está incompleto ya que bien por la mala ortografía, o bien por haber sido tomados los nombres de viva voz por el amanuense, existen palabras sin significado alguno; las clasificaciones no están muy cuidadas, pues los tasadores no las prestaron excesiva atención. Dentro del apartado de "Pedrería" se encuentran: Esmeraldas (5 onzas), Topacios orientales (1 o.), Zafiros (1 onza y media), Jacintos orientales mezclados (2 o.), Granates orientales (3 o.), Rubies (2 dracmas), Perlas orientales (23 o.), Perlas occidentales (32 o.), Piedras Lazuli (11 o.), Piedra Bezoar oriental (1 o.), Piedra Bezoares Vicuñas (2 libras), Bolo arménico (2 l.), Piedra Imán (1 o.), Piedra medicamentosa, Magnesita (1 l.), Piedra infernal (media onza), Piedra celeste (1 o.), Piedra Iguana (1 o.), Jacinto ordinarios (36 l.), Madreperlas (1 arroba), Coral rubio y Coral blanco (22 l.). Dentro del apartado de "Preparados" se encuentran además: Cristal montano, Succino blanco, Piedra hematites, y Cinabrio nativo.

Hortega nombra heredera a su mujer en 1731, quedando anulado este poder por otro anterior a su fallecimiento, veinte días más tarde que su mujer. Este último testamento reza: "... nombro por mi único y universal heredero de todos ellos al nominado D. Casimiro Gómez Ortega mi sobrino..."

Su sobrino Casimiro Gómez Ortega, nació también en Añover de Tajo en 1741, y murió en Madrid el año 1818. Escribió varios documentos relacionados con la Mineralogía, sobre el platino (1779) y salitre; sin embargo, no cultivó la rama geológica de la Historia Natural con profusión. A pesar de ello, Puerto (1992) afirma que su interés por los minerales le llevó a continuar la colección de su tío.

La Colección en el siglo XIX

Tras aquel importante expediente, se abre un amplio período de tiempo en el que carecemos de información sobre la Colección. En 1819 se eliminan los "estudios sublimes" del plan de estudios, para reestablecerse en 1821 con la inauguración de un laboratorio en la Casa de la Química, impartiendo la conferencia de presentación César González.

Durante el período 1823-39, hay sucesivos traslados y regresos de la Academia a Badajoz, Alcalá de Henares y Madrid, destacando el restablecimiento de los estudios sublimes en 1832 para los alumnos más sobresalientes. Precisamente es en uno de estos traslados cuando se realiza un inventario de los enseres enviados entre 1827 y 1829 al Museo Militar de Madrid. Este documento se conserva en la Biblioteca de la Academia, permitiéndonos saber que en sucesivos viajes se trasladaron al menos 1.983 muestras mineralógicas, contenidas en 23 cajones, aparte de un número indeterminado de piezas en otros 2 cajones. Todos estos ejemplares debieron regresar al volver la Academia a Segovia, como lo indica la existencia de piezas citadas en la actual colección.

En el año 1856 se publica un catálogo del Museo de Artillería de Madrid (RMMCA, 1856), donde aparecen reflejadas varias colecciones de ejemplares mineralógicos de interés artillero; principalmente piedras de chispa (sílex), azufres, carbones, salitres, rocas (tormentaria) y una colección de menas metálicas. Varias de las piezas numeradas y descritas de la Sala primera (piso principal) están situadas hoy en día en la Colección Secundaria de la Academia, lo que nos indica que con posterioridad a la citada fecha, parte de las colecciones del Museo de Artillería de Madrid pasaron al Real Colegio de Segovia.

Otro evento crucial es el incendio del



Foto 2.- Esmeralda (berilo, ciclosilicatos) sobre calcita y con pirita. Pieza integrante de la Colección Principal procedente de un yacimiento colombiano desconocido y con un espectacular hábito de cristalización. Foto: Miguel Romera.

Tras un corto período como mancebo o ayudante en la botica de Luis Llorente, contrajo matrimonio con su viuda, Mariana Aztina, tras la muerte de Llorente en 1728. En el año 1722, éste último poseía ya una botica en la calle Montera muy bien surtida de material e instrumental de laboratorio, géneros medicinales, especialmente químicos, y libros. Esta botica, que pertenecía anteriormente a Ignacio de la Peña, constaba tal y como refleja un inventario de 1711, de algunos minerales:

- Productos químicos y minerales: arsénico amarillo, azufre vivo, calomelanos, kermes (Quermes) Mineral, Nitro fijo, Piedra Infernal, Precipitado Verde, Tártaro Salubre Marcial, y Mortero de Piedra de S. Pablo.

- Productos animales: ámbar.
- Libros: 12 ejemplares.

Con su matrimonio, Hortega quedó al frente de esta botica, ampliando su biblioteca, instrumental y géneros, que bajo su dirección llegaría a ser una de las más prestigiosas de Madrid. Contaba con un laboratorio dotado de numeroso instrumental para operaciones químicas y de elaboración de medicamentos, y disponía asimismo de una amplia y selecta biblioteca.

El único inventario de su botica reali-

zado a la muerte de Hortega, está incompleto ya que bien por la mala ortografía, o bien por haber sido tomados los nombres de viva voz por el amanuense, existen palabras sin significado alguno; las clasificaciones no están muy cuidadas, pues los tasadores no las prestaron excesiva atención. Dentro del apartado de "Pedrería" se encuentran: Esmeraldas (5 onzas), Topacios orientales (1 o.), Zafiros (1 onza y media), Jacintos orientales mezclados (2 o.), Granates orientales (3 o.), Rubíes (2 dracmas), Perlas orientales (23 o.), Perlas occidentales (32 o.), Piedras Lazuli (11 o.), Piedra Bezoar oriental (1 o.), Piedra Bezoares Vicuñas (2 libras), Bolo arménico (2 l.), Piedra Imán (1 o.), Piedra medicamentosa, Magnesita (1 l.), Piedra infernal (media onza), Piedra celeste (1 o.), Piedra Iguana (1 o.), Jacinto ordinarios (36 l.), Madreperlas (1 arroba), Coral rubio y Coral blanco (22 l.). Dentro del apartado de "Preparados" se encuentran además: Cristal montano, Succino blanco, Piedra hematites, y Cinabrio nativo.

Hortega nombra heredera a su mujer en 1731, quedando anulado este poder por otro anterior a su fallecimiento, veinte días más tarde que su mujer. Este último testamento reza: "... nombro por mi único y universal heredero de todos ellos al nominado D. Casimiro Gómez Ortega mi sobrino...".

Su sobrino Casimiro Gómez Ortega, nació también en Añover de Tajo en 1741, y murió en Madrid el año 1818. Escribió varios documentos relacionados con la Mineralogía, sobre el platino (1779) y salitre; sin embargo, no cultivó la rama geológica de la Historia Natural con profusión. A pesar de ello, Puerto (1992) afirma que su interés por los minerales le llevó a continuar la colección de su tío.

La Colección en el siglo XIX

Tras aquel importante expediente, se abre un amplio período de tiempo en el que carecemos de información sobre la Colección. En 1819 se eliminan los "estudios sublimes" del plan de estudios, para reestablecerse en 1821 con la inauguración de un laboratorio en la Casa de la Química, impartiendo la conferencia de presentación César González.

Durante el período 1823-39, hay sucesivos traslados y regresos de la Academia a Badajoz, Alcalá de Henares y Madrid, destacando el restablecimiento de los estudios sublimes en 1832 para los alumnos más sobresalientes. Precisamente es en uno de estos traslados cuando se realiza un inventario de los enseres enviados entre 1827 y 1829 al Museo Militar de Madrid. Este documento se conserva en la Biblioteca de la Academia, permitiéndonos saber que en sucesivos viajes se trasladaron al menos 1.983 muestras mineralógicas, contenidas en 23 cajones, aparte de un número indeterminado de piezas en otros 2 cajones. Todos estos ejemplares debieron regresar al volver la Academia a Segovia, como lo indica la existencia de piezas citadas en la actual colección.

En el año 1856 se publica un catálogo del Museo de Artillería de Madrid (RMMCA, 1856), donde aparecen reflejadas varias colecciones de ejemplares mineralógicos de interés artillero; principalmente piedras de chispa (sílex), azufres, carbones, salitres, rocas (tormentaria) y una colección de menas metálicas. Varias de las piezas numeradas y descritas de la Sala primera (piso principal) están situadas hoy en día en la Colección Secundaria de la Academia, lo que nos indica que con posterioridad a la citada fecha, parte de las colecciones del Museo de Artillería de Madrid pasaron al Real Colegio de Segovia.

Otro evento crucial es el incendio del



Foto 3.- Etiqueta de pieza "antiguo envío" correspondiente a un paquete de ejemplares remitido por los hermanos Heuland desde Chile y Perú entre 1795 y 1800. Arriba, irreconocible, la localidad de procedencia; abajo, la media luna (símbolo de la plata), y la identificación de la pieza (c1). Esta clasificación ha sido cotejada con los listados existentes en el M.N.C.N., resultando tratarse de una argentita. Foto: Roberto Parra.

Alcázar en 1862, donde pudo perderse buena parte de la documentación, y que conllevó el traslado de la Academia al antiguo convento de S. Francisco, utilizado como internado ya desde 1853. Hasta 1865, las clases de Química se siguen dando en la casa de la Química, que no fue afectada por el incendio.

La actividad académica sufre varias interrupciones y traslados a finales del siglo XIX. Precisamente, con la estancia de la academia en la Plazuela de Guevara (Madrid) desde 1873 podría relacionarse uno de los últimos añadidos importantes a la Colección: las colecciones de minerales y rocas de la Comisión del Mapa Geológico de España. Esta institución de vocación investigadora, fue creada por Real Decreto e 26 de Marzo de 1873, pasando tras una intensa actividad y amplia producción bibliográfica, a denominarse Instituto Geológico y Minero de España en 1910, llamándose actualmente Instituto Tecnológico Geominero de España.

Las 400 piezas que componen estas colecciones están perfectamente etiquetadas y catalogadas, hasta el punto que las fechas y referencias recogidas en las amplias observaciones, nos permiten acotar la fecha en la que se recopilaron en torno al año 1898. El reciente descu-

brimiento de un documento donde se envían muestras de rocas idénticas al Real Colegio de El Escorial en 1897 (I. Rábano, *com. per.*), nos lleva a pensar en la donación sistemática de colecciones por parte de la citada Comisión a diferentes centros de enseñanza durante los últimos años del siglo XIX.

El siglo XX

En el siglo XX, la Colección ha sufrido muchos avatares, íntimamente vinculados con obras y traslados dentro de la Academia, pasando de nuevo por el Alcázar (Sala del Cordón), la Casa de la Química y el exconvento de San Francisco. La escasa documentación en la que se refiere su existencia sólo nos permite destacar la aportación y clasificación de algunas piezas firmadas en 1919 por el entonces capitán Fernández Ladreda, quien posteriormente sería General y Ministro de España. Durante la década de los ochenta, el capitán Peña primero y el alférez Montes posteriormente realizan una importante labor de recuperación y colocación de las piezas, hasta entonces amontonadas y embaladas en cajas. Finalmente, durante los últimos seis años se ha procedido a la catalogación, limpieza e inves-

tigación histórico-científica, labores para las cuales se ha contado con la colaboración de Alejandro Gaona y la ayuda de la Asociación Biblioteca de Ciencia y Artillería.

EL PRESENTE

Antes del comienzo de las labores de limpieza en el invierno de 1991, la situación general de la Colección en cuanto a conservación de los ejemplares podría calificarse de pésima. Los inadecuados sistemas de cierre de los armarios y la rotura de cristales y fondos, facilitaron el acceso del polvo a los ejemplares en grandes cantidades; gran parte de las piezas se encontraban apiladas, desordenadas o amontonadas en el fondo de armarios y cajones. La situación y orientación del edificio, junto al continentalizado clima de Segovia, hace que existan notables contrastes térmicos (oscilaciones medidas entre 36°C y -2°C). Las piezas, sometidas a estas oscilaciones han sufrido roturas, dilataciones diferenciales, hinchamientos, ampliación de fisuras, etc.

Algo semejante ha ocurrido con las variaciones de humedad, cuyos efectos sobre las piezas más reconocibles ha sido: aparición de pátinas de óxidos sobre elementos nativos, sulfuros y sulfosales; formación de carbonatos y sulfatos sobre óxidos y sulfuros metálicos; recristalización y recrecimiento de algunos minerales salinos (haluros), destruyendo los minerales circundantes y las bandejas por haloclastia o incrustaciones; aparición de fenómenos de deshidratación en sales (glauberita, torbernita, ...) y de rehidratación en otras (anhidrita, thenardita, ...), que producen cambios de fase y hasta de especie, conduciendo finalmente a pérdidas de brillo, vistosidad o a su desagregación; y otras múltiples reacciones químicas en los compuestos minerales que tienden a cambiar su composición en superficie, conduciendo a su desagregación y pérdida de vistosidad.

La incidencia de la luz del sol a través de las múltiples ventanas del Laboratorio ha conducido a la degradación fótica de todo tipo de materiales (papel, cartón, pintura, ...), incluso de los propios minerales fotosensibles (como el amatista) que han perdido parte de su colorido y vistosidad. A estos aspectos se añaden:



Foto 4.- Copa de dos piezas pulidas de jaspe rojo y amarillo veteado, relacionada con el Tesoro del Delfín e integrada dentro de la Colección Principal.
Foto: Miguel Romera.

deterioros por sustracción histórica de piezas (faltan gran parte de ejemplares de oro, plata y piedras preciosas), retirada temporal de piezas, y eliminación o degradación de etiquetado antiguo, o superposición del moderno sobre el anterior.

Tras las labores de catalogación, limpieza y documentación histórica, los ejemplares se reubicaron en los nuevos estantes sobre los puestos de trabajo del Laboratorio, y reaprovechando algunos de los recipientes previos (armarios metálicos marrones y bajos de madera). Dichas labores consistieron básicamente en: inventario pormenorizado de los ejemplares, recogiendo en bases de datos informatizadas características de las piezas, los recipientes y el etiquetado; limpieza de las muestras por técnicas físicas, con la adopción de nuevas bandejas; e investigación histórico-mineralógica de la información histórica disponible.

Importancia histórico-científica

La documentación disponible hasta el momento nos permite remontar el origen del núcleo de la Colección, al menos hasta inicios del siglo XVIII. Tal y como

se refleja en la breve reseña histórica, en 1722, Luis Llorente ya contaba con una botica propia, donde posiblemente se gestó el germen de la colección que sería adquirida por el Real Colegio en 1817. Este hecho la convierte en **una de las colecciones de Historia Natural documentadas más antiguas de Europa** y, por ende, del mundo. Más allá de fechas y récords, ello confiere a la Colección una potencialidad increíble como fuente de información histórica, ya que en su composición, estructura y etiquetado se encuentra latente la huella de varias generaciones de científicos ilustrados y artilleros.

Por lo que respecta a la información científica (mineralógica, petrológica y paleontológica) intrínseca de la colección, cabe destacar la existencia de varios sistemas de clasificación taxonómica de las piezas. Estas clasificaciones nos permiten reconstruir los criterios físicos, químicos o utilitaristas, empleados por los científicos a la hora de asignar la especie y englobar ésta en un grupo de orden superior. Son especialmente interesantes las clasificaciones mineralógicas que se deducen del etiquetado "antigua clasificación" de la Colección Principal, donde se refleja un intento de aplicación del sistema lineano a la Mineralogía.

Aparte de los aspectos generales, de entidad más que suficiente, existen ejemplares o piezas singulares dentro de la colección, bien por su vinculación histórica, bien por su interés científico. Dentro del primer aspecto, destacar las piezas de la Colección Principal con etiquetado de "antiguo envío", "símbolo químico" o las muestras del Tesoro del Delfín (y en especial el jade tallado con motivos chinos). Por lo que respecta al interés científico, existen numerosas piezas de yacimientos minerales agotados (Conil, Hiendelaencina, ...) que pueden facilitar la investigación actual sobre cuál eran sus paragénesis y condiciones de formación, así como las peculiaridades de las variedades minerales allí encontradas. Todo ello se complementa con el extenso listado de yacimientos y minas activas que reflejan los apartados de localización en las catalogaciones, fuente de estudio histórico-minero de algunos conocidos distritos mineros españoles y sudamericanos.

EL FUTURO

Existe un ambicioso proyecto por parte de los responsables de la Academia de

Artillería de Segovia, la Asociación Cultural "Biblioteca de Ciencia y Artillería", y el Patronato del Alcázar para crear una exposición abierta al público con los fondos de la Colección.

Dicho museo se pretende que pueda ubicarse a corto-medio plazo en la Casa de la Química, antigua localización del laboratorio de Luis Proust en las proximidades del Alcázar de Segovia. Tras la restauración con motivo de la celebración de su Bicentenario (1792-1992), ésta sería sin duda la ubicación idónea debido a la fuerte vinculación temática del edificio con la Colección, y por haber permanecido allí por espacio de más de 150 años.

Mientras tanto, la exposición sobre la historia del primer siglo del Real Colegio de Artillería, recientemente inaugurada en el ala sur del Alcázar, ya recoge algunas notas y ejemplares de la Colección. Incluso es probable que el resto se traslade provisionalmente desde el acuartelamiento de San Francisco a alguna dependencia del propio Alcázar para ser expuesta al público hasta la adecuación de su sede definitiva.

Hasta ese momento, la Academia de Artillería va dando pasos decisivos y avanzando por medio de acciones puntuales (concesión de becas de investigación, destino de fondos para la confección de un CD-ROM, contactos institucionales, etc.) hacia la deseada conservación y divulgación de tan singular patrimonio histórico-científico.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer a la Academia de Artillería de Segovia la confianza depositada en mí como conservador de la Colección, y en especial a su General-Director D. Vicente García, quien me incitó a la escritura de este artículo. Al Col. Félix Sánchez, TCol. Canle y Padrón, la Dra. M^a Dolores Herrero, Juan Luis García-Hourcade, Alejandro Gaona, Roberto Parra, Miguel Romera y cuanto personal civil y militar ha venido colaborando conmigo en las labores de catalogación, limpieza y documentación histórica. Agradecimiento que hago extensivo a Isabel Rábano por la revisión crítica de este artículo, y al personal del Museo del I.T.G.E.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRES, F. (1984): *Farmacia y fármacos a través del Protocolo Notarial de Madrid (segundo cuarto del siglo XVIII)*, Tesis Doctoral, UCM, Madrid, 831 págs.

ARCHIVO HISTORICO DE PROTOCOLOS DE MADRID (AHPM), *Protocolos Notariales*, Colección de los Documentos públicos otorgados ante cada Escribano, correspondientes a 1730-1737.

BARREIRO, A.J. (1944): *El Museo Nacional de Ciencias Naturales*, con prólogo de E. Hernández-Pacheco, CSIC, Madrid, 81+381 págs.

FOLCH, R. (1935): *Los farmacéuticos en la Academia durante el siglo XVIII. Labor de D. José Ortega*, Academia Nacional de Medicina, Madrid, 110 págs.

FOLCH, R. (1952, 1953): «La Botica de D. José Ortega», *Boletín de la Sociedad Española de Historia de la Farmacia*;

3(9), 1-10; 3(11), 97-110; 3(12), 151-158; 4(14), 67-71; y 4(15), 109-115.

GARCIA, J.L. y VALLES, J.M. (1989): *Catálogo de la Biblioteca dieciochesca del Real Colegio de Artillería de Segovia. Fondos de los siglos XVI, XVII y XVIII hasta 1808, I. Fondos científicos*, Biblioteca de Ciencia y Artillería, estudios 1, Academia de Artillería de Segovia, Segovia, 233 págs.

HERRERO, M.D. (1990): *La enseñanza militar ilustrada. El Real Colegio de Artillería de Segovia*, Biblioteca de Ciencia y Artillería, estudios 2, Academia de Artillería de Segovia, Valladolid, 249 págs.

HERRERO, M.D. (1992): *Ciencia y milicia en el siglo XVIII. Tomás de Morla, artillero ilustrado*, Patronato del Alcázar de Segovia, Valladolid, 598 págs.

HERRERO, M.D. (1993): *Cañones y probeta en el Alcázar. Un siglo de la historia del Real Colegio de Artillería de*

Segovia (1764-1862), Patronato del Alcázar de Segovia, Madrid, 76 págs.

MONTES, J.A. (1990): *Catálogo de la Colección Principal de rocas, minerales y fósiles existentes en el Laboratorio de Química de esta Academia*, Segovia, 4 t.

MORLA, T. DE (1784-86): *Tratado de Artillería para el uso de la Academia de Caballeros Cadetes del Real Colegio de Artillería*, Imp. Espinosa, Segovia, 4 t.

MORLA, T. DE (1800): *Arte de fabricar pólvora*, Imprenta Real, Pedro Julián Pereyra, Madrid, 3 t.

PUERTO, F.J. (1992): *Ciencia de Cámara. Casimiro Gómez Ortega (1741-1818) el científico cortesano*, Estudios sobre la Ciencia, 17, CSIC, Madrid, 369 págs.

R.M.M.C.A (1856): *Catálogo de los objetos que contiene el Real Museo Militar a cargo del Cuerpo de Artillería*, Imprenta de Tejado, Madrid, 391 págs.

WIEDEMANN, J.F.G. (1797): *La Orictognosia*, traducida por C. Herrgen, Madrid, 2 vol. (396 y 466 págs.).

Original recibido: Diciembre 1996.

Original aceptado: Enero 1997.

NORMAS DE PUBLICACION PARA LOS AUTORES

Los trabajos inéditos que se reciban para su publicación en el BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO serán revisados por un Comité editorial que decidirá si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

Texto.

Se entregará paginado y mecanografiado a doble espacio por una sola cara y con amplios márgenes. Este texto se considerará definitivo, deberá venir leído por el autor y perfectamente puntuado y con las correcciones de las erratas de mecanografía que fuesen precisas. En él serán marcadas las fechas de recepción y aceptación.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, tablas y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse, si es posible. En los originales de las mismas se reseñará el título del trabajo, así como el nombre de los autores.

Todos los trabajos en lengua española irán precedidos de un breve resumen en español e inglés o francés. Los de idiomas extranjeros lo llevarán en su idioma y también en español. Al final de los mismos, y en párrafo aparte, se incluirán las palabras clave, reservándose el último lugar para la localización geográfica, si la hubiere.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original y figuras.

Idiomas.

Excepcionalmente podrán publicarse trabajos en otros idiomas (preferiblemente inglés o francés), siempre que abarquen temas sobre España y sean de autores extranjeros.

Referencias.

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

Parte gráfica.

La parte gráfica vendrá preparada para ser reproducida a las anchuras máximas de 80 mm. (una columna) y 170 mm. (doble columna). Se evitará en lo posible la inclusión de encartes, así como se reducirá a lo indispensable el número de figuras, tablas y fotografías. En las ilustraciones a escala, ésta se expresará solamente en forma gráfica, con objeto de evitar errores en caso de reducir el original. Todas las figuras irán numeradas correlativamente según su orden de inserción.

Las figuras serán originales y nunca copiativos, delineadas con tinta china sobre papel vegetal. Las tablas, bien presentadas para su reproducción fotográfica. Las fotografías serán positivos en blanco y negro sobre papel brillo y excepcionalmente en color (positivo en brillo o transparencia)

Pruebas.

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificación alguna, adición o supresión al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de diez días, pasados los cuales la Redacción decidirá entre retrasar el trabajo o realizar ella misma la corrección, declinando la responsabilidad por los errores que pudieran persistir.

Los originales de texto y figuras quedarán en poder de la Redacción.

Tiradas aparte.

Se asignan 30 tiradas aparte con carácter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

Toda la correspondencia referente a las publicaciones

deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio Ladrón de Guevara

Jefe del Servicio de Publicaciones

Instituto Tecnológico Geominero de España

Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA

Finalidad:

*Investigación, Desarrollo Tecnológico y Asistencia técnica en Geología, Minería
Agua subterráneas, y Disciplinas conexas*



GEOLOGIA

MAPA GEOLOGICO NACIONAL (MAGNA)
ESTUDIOS GEOLOGICOS Y CARTOGRAFIA TEMATICA
GEOLOGIA MARINA



RECURSOS MINERALES

EXPLORACION MINERA E INVESTIGACION DE YACIMIENTOS
METALOGENIA Y CARTOGRAFIA METALOGENETICA
EVALUACION DE RESERVAS E INVENTARIO DE RECURSOS
PROCESOS, TECNOLOGIA Y ECONOMIA MINERAS
NORMATIVA Y SEGURIDAD MINERA



AGUAS SUBTERRANEAS

CARTOGRAFIA HIDROGEOLOGICA
PROTECCION DE RECURSOS HIDROGEOLOGICOS
EVALUACION Y CONTROL DE ACUIFEROS SUBTERRANEOS
RECURSOS GEOTERMICOS



INGENIERIA GEOAMBIENTAL

RIESGOS GEOLOGICOS
RESTAURACION DEL MEDIO AMBIENTE MINERO
GEOTECNIA Y GEOLOGIA APLICADA A LA INGENIERIA
ESTUDIOS MEDIOAMBIENTALES



LABORATORIOS Y ENSAYOS

ANALISIS QUIMICOS Y MINERALOGICOS
GEOQUIMICA BASICA Y APLICADA
GEOFISICA Y TELEDETECCION APLICADA
ENSAYOS MINERALURGICOS Y GEOTECNICOS
CARACTERIZACION DE ROCAS Y MINERALES INDUSTRIALES
SONDEOS MECANICOS Y ENSAYOS DE BOMBEO



INFORMACION, DOCUMENTACION Y BANCO DE DATOS

FONDOS DOCUMENTALES Y BASES DE DATOS
LITOTECA
SISTEMAS DE INFORMACION Y COMUNICACIONES



SERVICIO DE PUBLICACIONES

CARTOGRAFIA TEMATICA A DIVERSAS ESCALAS
PUBLICACIONES SOBRE GEOLOGIA, MINERIA Y CIENCIAS CONEXAS
«BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO»
«REVISTA ESPAÑOLA DE MICROPALAEONTOLOGIA»



MUSEO GEOMINERO

PALEONTOLOGIA Y MINERALOGIA
CATALOGACION Y GESTION DE COLECCIONES GEOLOGICAS
EXPOSICIONES: TEMPORALES Y PERMANENTES
DIVULGACION CIENTIFICA

Sede Central:

C/Ríos Rosas, 23 - 28003 MADRID
☎: 91/349 57 00. Fax: 91/349 57 62

Centro de Laboratorios:

C/La Calera, 1 - 28760 TRES CANTOS (MADRID)
☎: 803 22 00