

# ESTUDIO DEL COMPLEJO VOLCANO-SEDIMENTARIO DEL DEVONICO Y DE LA ESTRUCTURA DE LA TERMINACION ORIENTAL DEL SINCLINAL DE ALMADEN (CIUDAD REAL)

(J. Vergés)\*

## RESUMEN

La serie estratigráfica es una espesa sucesión (1.600 m) de materiales detríticos y volcánicos con rápidos cambios laterales de facies, aunque en la parte superior predomina el volcanismo formando grandes edificios volcánicos. Hay una laguna estratigráfica del Devónico medio (parte del Emsiense, Eifeliense y Givetiense) como parece ser común en toda esta zona. Los materiales más altos de la serie pertenecen al Frasnense.

Las mineralizaciones de cinabrio están ligadas al volcanismo básico, mientras que las de Pb-Zn están asociadas a las riolitas. Es importante el descubrimiento de dos chimeneas volcánicas de similares características a las que están mineralizadas del Silúrico (Almadén y El Entredicho). El volcanismo Devónico presenta una naturaleza toleítica, aunque parece conservar rasgos de la serie de los basaltos alcalinos. Estos materiales volcánicos se encuentran desigualmente afectados por una retrogradación hacia asociaciones con clorita-calcita-albita.

El núcleo del sinclinal es una forma compuesta de una parte más o menos cilíndrica (parte central) formando un pliegue simple, mientras que la terminación periclinal es una forma digitada constituida por varios pliegues cónicos.

## INTRODUCCION Y ANTECEDENTES

La zona estudiada se encuentra en el Sinclinal de Almadén, junto a la localidad minera del mismo nombre, situada en la parte meridional de la Zona Centroibérica. Toda esta área se caracteriza por una estructura en pliegues alargados con los núcleos sinclinales formados por materiales paleozoicos y con el Precámbrico aflorando entre ellos.

La finalidad del presente trabajo es el estudio del complejo volcano-sedimentario del núcleo Devónico del citado sinclinal (o sinclinal de Chillón), y de la estructura que presenta la terminación oriental del mismo tomando como nivel de referencia la denominada "Cuarcita de base" de edad devónica. Esta cuarcita no representa la base del Devónico, pero se ha tomado como muro de la serie estudiada puesto que constituye un buen nivel guía para la determinación de las estructuras y es además un nivel más o menos isócrono.

El mapa geológico (fig. 1) es un mapa interpretativo realizado a partir de un mapa de afloramientos a escala 1:10.000 con 1.450 estaciones.

Los antecedentes bibliográficos del Devónico de la zona de estudio son cuantiosos aunque la mayoría se refieren a datos locales con escasa conexión entre sí. La primera cita de fósiles devónicos en el área, procedentes de la "Cuarcita de base", fue dada a conocer por PRADO (1855). Posteriormente aparecieron numerosos trabajos hasta que ALMELA et al. (1962) pre-

sentaron una estratigrafía completa del Paleozoico de Minas de Almadén. Más modernamente aparecen varias publicaciones de carácter más o menos regional (MAASS, 1963; PUSCHMANN, 1967, 1970; SAUPE, 1973; LAURET, 1974; COULLAUT et al., in litt.).

## ESTRATIGRAFIA

La llamada "Cuarcita de base" forma un nivel muy destacado de unos 25-30 m de espesor perfectamente visible tanto en el campo como en la fotografía aérea. Por encima y formando el núcleo del sinclinal se encuentra una espesa sucesión (aproximadamente unos 1.600 m), de materiales detríticos y volcánicos con rápidos cambios laterales y ausencia total de niveles guía. Seguidamente se describen los tres tipos de materiales diferenciables en este núcleo.

## Sedimentos detríticos

El Devónico detrítico no presenta grandes diferencias respecto a los sedimentos ordovícicos y silúricos. La serie paleozoica que se inicia en toda la Zona Centroibérica con la Cuarcita Armoricana consiste en la sucesión de tres megasecuencias regresivas que culminan cada una de ellas en un potente nivel de cuarcitas. La "Cuarcita Canteras" de edad ordovícica (Caradoc), la

\* Dpto. de Geotectónica. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra (Barcelona).

**MAPA GEOLOGICO**

DEVONICO SUP. DEL SINCLINAL DE ALMADEN

J. VERGÉS 1979

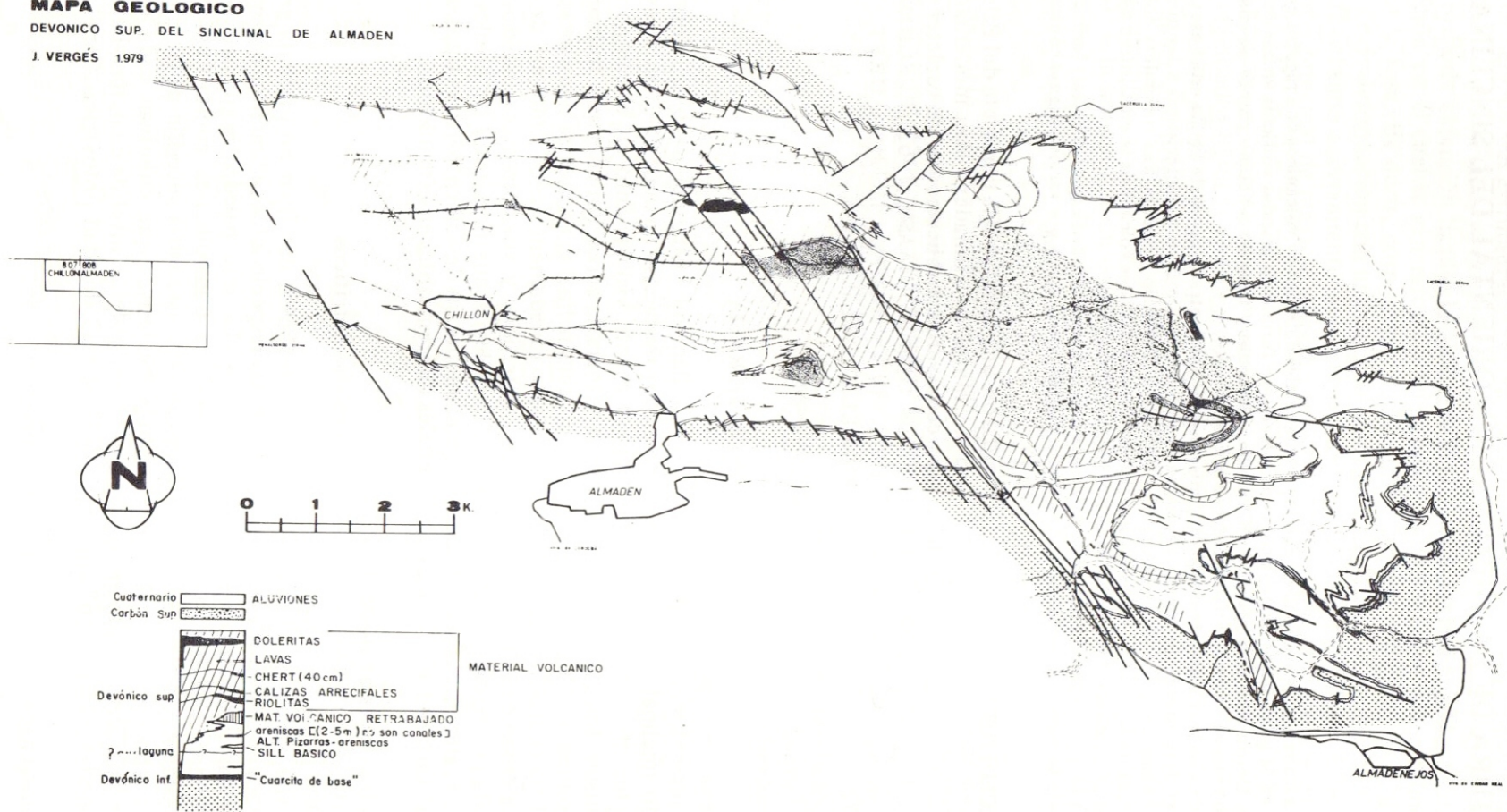


Fig. 1.- Mapa geológico del Devónico del Sinclinal de Almadén.

“Cuarcita Criadero” de edad silúrica (Llandove ry) y finalmente la “Cuarcita de base” del Devónico (Siegeniense-base del Emsiense). Todas estas denominaciones fueron dadas por ALMELA al. (1962). Por encima de la “Cuarcita de base” aflora una potente serie volcano-sedimentaria que es el motivo de este estudio.

La “Cuarcita de base” tiene un carácter progradante y está compuesta por una serie de ciclos negativos de unos 7 m de potencia, de los cuales se pueden ver tres al lado de los depósitos de agua de Almadén. El ciclo inferior empieza con una alternancia de pizarras y cuarcitas, haciéndose más cuarcítico hacia el techo. Las capas superiores tienen de uno a dos metros de grueso, con estratificación cruzada planar de bajo ángulo y con un tamaño de grano que aumenta hacia el techo hasta alcanzar 0,5 mm de diámetro (thickening and coarsening upward). Estas areniscas carecen de cuerpos canalizados, contienen muy poca fauna y presentan enriquecimientos locales de hierro y niveles bioturbados con delgadas costras ferruginosas en cuyo techo se encuentran niveles delgados de limolitas gris-azulado.

Por encima y concordante con la “Cuarcita de base”, aparece una serie monótona que puede resumirse en un conjunto de pequeños ciclos “thickening and coarsening”. Estos ciclos se presentan con pizarras en la base, que pasan gradualmente a estratificación lense, lentejones continuados, estratificación flaser y finalmente una o varias capas de cuarcitas de 10 a 50 cm con laminación planar de bajo ángulo y morfología de barra, que pueden contener fauna. Intercalados en la serie, pero con mayor frecuencia en el término superior de los ciclos aparecen pequeños canales de 5 a 20 cm. Existen varios pequeños niveles calizos con fauna intercalados en estas alternancias.

La serie detrítica ocupa aproximadamente la parte inferior de todo el conjunto, con una disminución progresiva de su potencia hacia el O, determinada por el engrosamiento de los materiales volcánicos. Esta serie detrítica tiene una potencia aproximada de 450-500 m al O y unos 650-700 m al E.

### Sedimentos volcánicos retrabajados

En todo el sinclinal aparecen niveles de tobas más o menos retrabajadas que al igual que los sedimentos detríticos anteriormente descritos, se presentan formando pequeños ciclos

“thickening and coarsening”, con canales en la parte alta. El conjunto más espeso y extenso está cartografiado como nivel propio y se sitúa por encima de los sedimentos detríticos en el flanco S del sinclinal. Estos materiales seguramente proceden del desmantelamiento de los conos volcánicos por la acción de las olas y/o corrientes.

### Paleocorrientes y ambientes sedimentarios

Las medidas de paleocorrientes se han efectuado mediante restitución a la horizontal de las capas con laminaciones cruzadas. La mayoría de los datos provienen de la “Cuarcita de base”. En el Devónico estudiado hay 15 localidades con 5 a 33 medidas en cada estación según los casos.

La dirección principal, medida en la mega-estratificación cruzada de la “Cuarcita de base” es hacia el O, aunque se han observado también direcciones hacia el O-NO. Es frecuente encontrar en alguna localidad corrientes bimodales. En el techo de las barras de la “Cuarcita de base” existe una dirección hacia el NNO, aproximadamente perpendicular a la dirección principal.

La Cuarcita Devónica corresponde seguramente a un complejo de barras litorales (barras de “foreshore”) progradantes hacia el O, pero con direcciones de corriente ONO y en sentido contrario debido a la acción de las mareas(?). La dirección ortogonal puede ser debida al descenso del nivel del agua, produciéndose corrientes paralelas a las crestas de las barras. Los niveles bioturbados y limolitas podrían corresponder a momentos de regresión con acumulación de material fino residual.

Las alternancias superiores corresponden a ambientes de más profundidad, formadas por unas pizarras de “offshore” y pequeñas barras submareales. El aumento de la profundidad encaja perfectamente con la actividad volcánica principal. Las paleocorrientes de estas alternancias superiores no varían respecto a las anteriores.

### Materiales volcánicos

Los materiales volcánicos están representados por lavas básicas y ácidas y por tobas y brechas que no presentan señales evidentes de retrabajamiento sedimentario. Las tobas son predominantes sobre las lavas. El estudio petrológico de estas rocas se realizará en el capítulo de petrología. Los materiales volcánicos se presentan

en sills, conos volcánicos y en chimeneas cortando a los materiales encajantes. A continuación vamos a describir las dos últimas formas.

a) *Conos volcánicos*. Los materiales volcánicos forman unos conos con una relación diámetro de la base/altura que varía entre 33/1 y 16/1, medidas bastante similares a las citadas para los conos submarinos de poca profundidad de hialoclastitas actuales (TAZIEFF, 1972; HONNOREZ et al., 1975). Estos conos están formados por capas de tobas y lavas que yacen discordantes sobre los sedimentos inferiores, formando ángulos de unos 20° como puede deducirse de la comparación entre los buzamientos de los dos conjuntos.

En el flanco N del sinclinal se pueden diferenciar seis conos distintos, de los cuales cuatro están superpuestos, mientras que en el flanco S sólo parece que existan tres. El cono más alto y más grande tiene unos 30 Km de diámetro de base y unos 1.200 m de potencia mínima en su punto más alto (relación diámetro base/altura es igual a 28/1), admitiendo que se trate de un cono único. Este cono volcánico superior no tiene ninguna intercalación detrítica importante salvo pequeñas intercalaciones de pizarras (fig. 2).

Los conos volcánicos pasan lateralmente a sedimentos marinos de poca profundidad. En algunas capas de tobas hay fósiles, a veces englobados en las mismas o bien en la superficie de la capa. Al O de Chillón se ha encontrado un coral en posición de vida sobre una capa de tobas. En los niveles superiores de estos edificios volcánicos aparecen frecuentemente capas calizas intercaladas con abundantes fósiles, y que son concordantes con las tobas que las engloban. Estas capas por lo tanto estarían formadas en la pendiente del cono. Son capas muy delgadas (8-15 cm) que quedarían enterradas por sucesivas erupciones volcánicas.

b) *Chimeneas volcánicas*. En la zona estudiada hay dos chimeneas de rocas básicas y una de rocas ácidas que cortan claramente el material encajante. Hay otros cuerpos situados en el complejo volcánico que por su forma y relación con el encajante también podrían ser chimeneas. Las chimeneas básicas situadas al S de Chillón y al ONO de Almadenejos cortan claramente a la "Cuarcita de base" (fig. 3) siendo muy grande el interés desde el punto de vista minero por tratarse de cuerpos muy similares a los actualmente en explotación (Almadén) y al que se explotará en un futuro próximo (El Entredicho).

## CRONOESTRATIGRAFIA

La fauna recogida en 27 localidades se ha estudiado en el Departamento de Paleontología de la Universidad de Oviedo. Nueve de estas muestras se han analizado para Conodontos, siendo negativo el resultado para ocho de ellas. El estado de conservación de los fósiles no permite en muchos casos la identificación específica (referida principalmente a Braquiópodos, Lamelibranchios y Trilobites), pero sí la genérica. Incluso a nivel genérico, las asociaciones de fósiles son muy distintivas, de manera que las dataciones realizadas pueden clasificarse de precisas a muy precisas (com. per. de J. GARCIA-ALCALDE). En el presente trabajo tan sólo se citan los fósiles más característicos comunes a la mayoría de muestras que componen las distintas biozonas. Las especies o géneros más representativos se incluyen en la fig. 4.

El estudio de las muestras indica la existencia de Devónico inferior y superior, con ausencia de todo el Devónico medio. El límite Silúrico-Devónico se encuentra en el complejo volcano-sedimentario situado por debajo de la "Cuarcita de base" (ALMELA et al., 1962). La "Cuarcita de base" es de edad siegeniense superior-base del Emsiense superior como lo demuestra la fauna encontrada en ella. Una edad Devónico inferior también fue encontrada por ALMELA et al. (1962), en unas capas situadas unos 70 m por encima de la "Cuarcita de base" (calizas delgadas de la localidad núm. 98 del trabajo de dicho autor).

Las muestras núms. 126, 255 y 573 que se sitúan sólo a unos 150-200 m por encima de la "Cuarcita de base", dan faunas que pertenecen claramente al Devónico superior. Por las condiciones de afloramiento es muy difícil establecer una sucesión detallada de la zona límite entre el Devónico inferior y el superior, como pudo hacer PUSCHMANN (1970) en Herrera del Duque en donde el Emsiense terminal está separado del Frasnense inferior por un nivel arcilloso azoico de 10 cm de potencia.

Existe pues una laguna estratigráfica que abarca parte del Emsiense, el Eifeliense y el Givetense, exactamente igual que en Herrera del Duque. Esta ausencia parece ser debida a un paro en la sedimentación. La ausencia del Devónico medio fue descubierta en el sinclinal de Guadalmez por GROTH (1911). Posteriormente esta ausencia ha sido confirmada por casi todos los autores (MARQUEZ TRIGUERO, 1961;

# ESQUEMAS ESTRATIGRAFICOS W-E

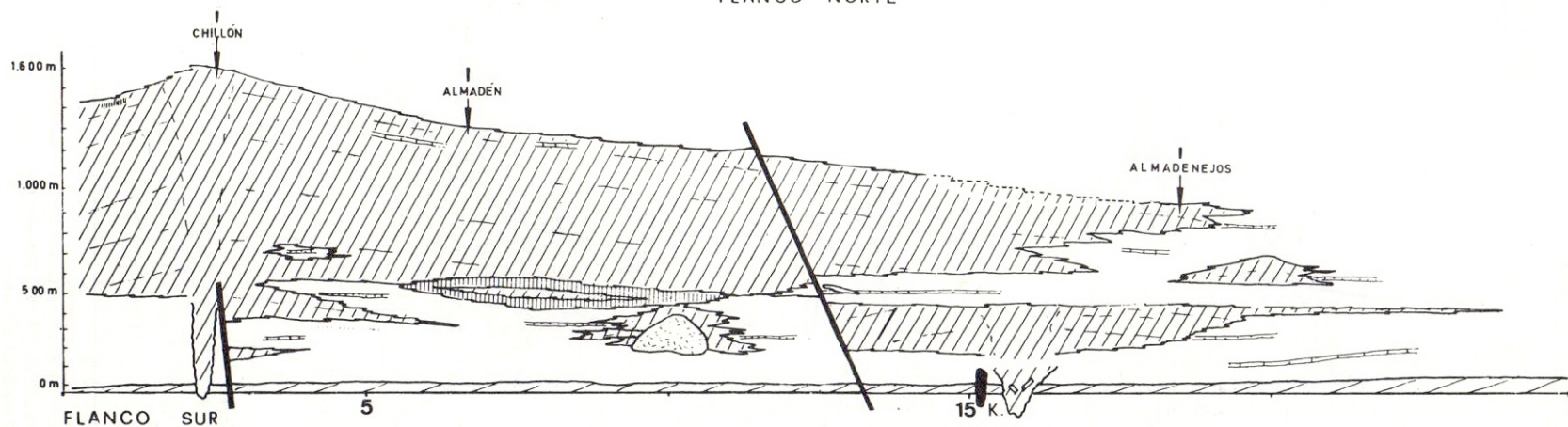
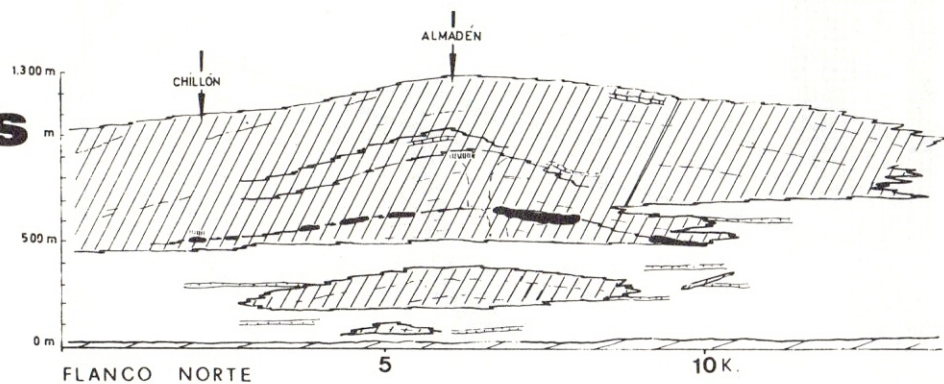


Fig. 2.- Esquemas estratigráficos W-E.

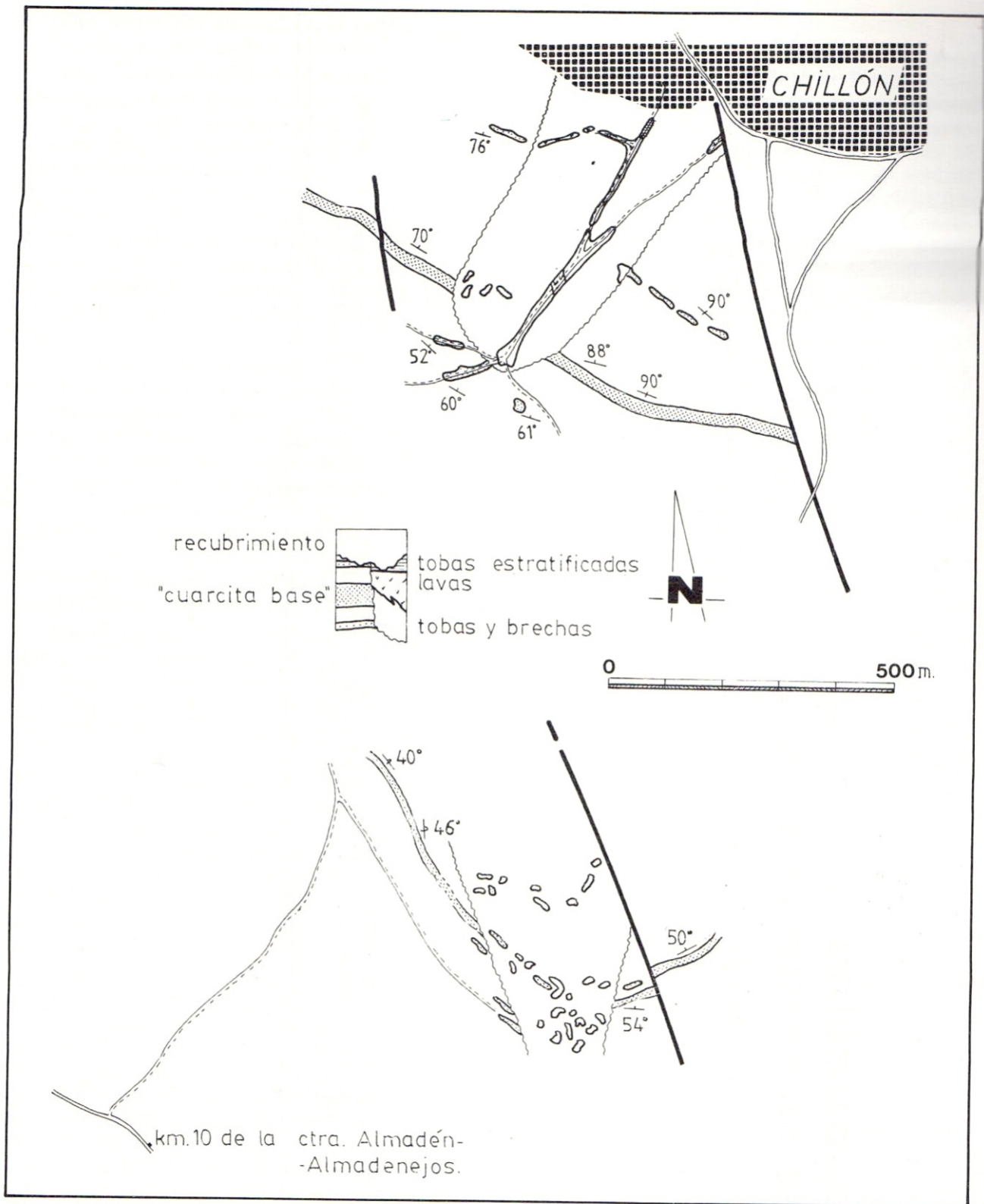


Fig. 3.— Mapa de afloramientos de las chimeneas volcánicas básicas. Mientras que la chimenea de Chillón parece una zona más profunda, la chimenea situada al NW de Almadenejos parece más superficial conservando bloques de la "Cuarcita de base" rotos y basculados entre el material tobáceo.

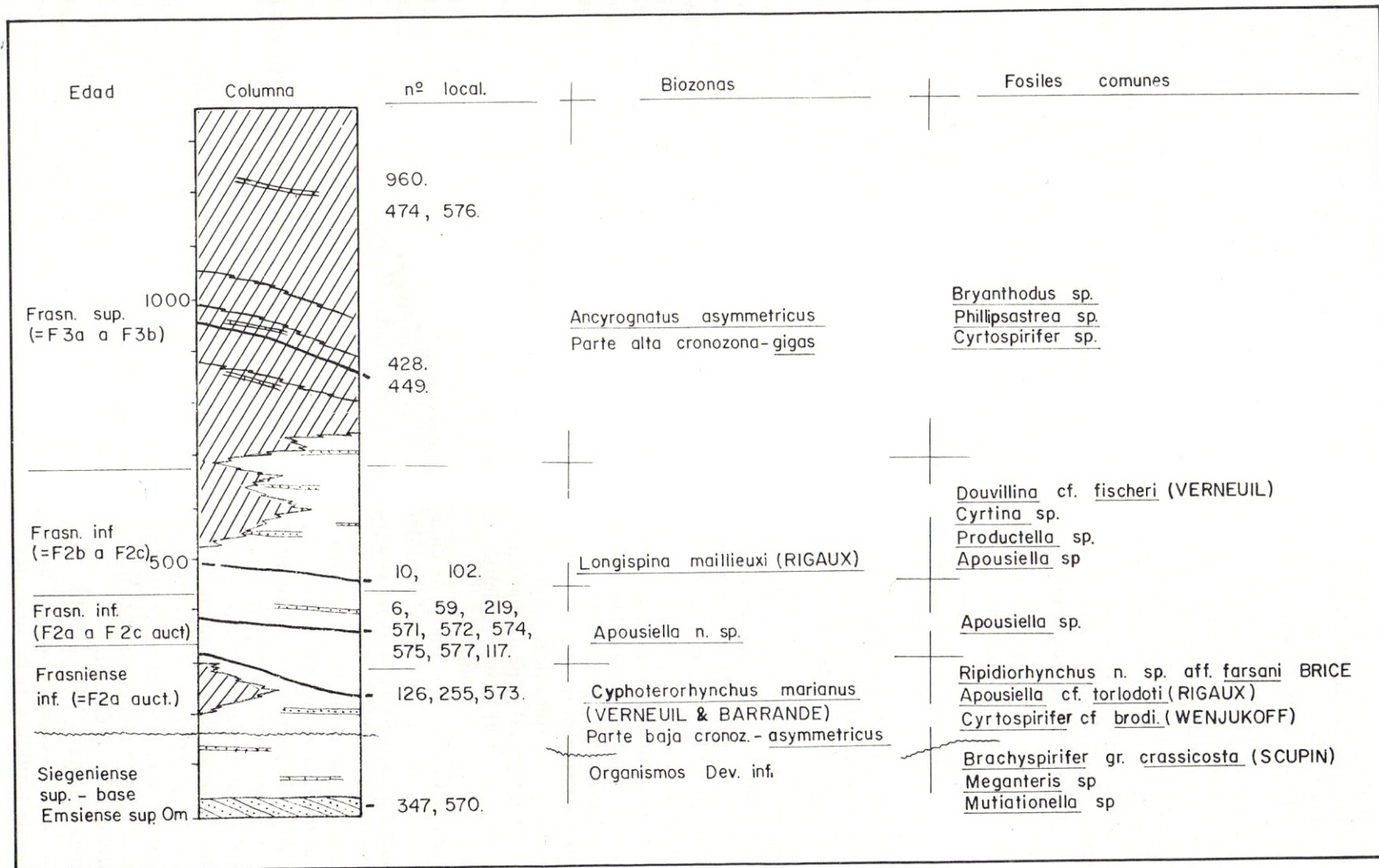


Fig. 4.- Fósiles más característicos comunes a la mayoría de muestras que componen las distintas biozonas.

PUSCHMANN, 1967, 1970), aunque ALMELA et al. (1962) creyeron reconocer el Eifeliense en el sinclinal de Almadén. Las recolecciones realizadas en el presente trabajo confirman la ausencia del Devónico medio también en este sinclinal.

El límite entre el Devónico inferior y el superior no parece coincidir con ningún cambio apreciable en los materiales detríticos, pero sí con una reactivación de la actividad volcánica.

El Frasnense se ha podido dividir en cuatro biozonas con asociaciones muy características que pueden servir para correlacionar a nivel regional. En este sinclinal no ha aparecido fauna posterior al Frasnense.

## MINERALOGIA

Existen dos tipos de mineralizaciones en el área de Almadén. Las primeras son de cinabrio y las otras de Pb-Zn. Las mineralizaciones de cinabrio están localizadas en los bordes de cráteres de explosión en masas sedimentarias o impregnando niveles de cuarcita en proceso de diagenización (SOLER, com. per.). El nivel mineralizado más importante es la "Cuarcita de Criadero" del Llandoverly, aunque existen también otros niveles como la llamada localmente "Cuarcita de las Cuevas" situada aproximadamente en el límite Silúrico-Devónico. El hecho de que todas las mineralizaciones importantes de cinabrio estén ligadas a chimeneas volcánicas y que todas las chimeneas tengan mineral pone de manifiesto la importancia que tiene el descubrimiento de dos nuevas chimeneas en el Devónico.

La chimenea de Chillón, con pintas de cinabrio en las fracturas de una capa cuarcítica del encajante situada por debajo de la "Cuarcita de base" y muy cerca del contacto con las tobas y lavas discordantes de la chimenea, actualiza el hecho de que los habitantes de Chillón encontrarán mercurio nativo al hacer los cimientos de sus casas. Este dato ya fue recogido por PRADO (1855), pero no se había tomado en consideración hasta ahora. El análisis geoquímico da una pequeña anomalía en esta zona. Todos estos datos hacen pensar en una posible mineralización de la parte alta de la chimenea, situada actualmente debajo del pueblo de Chillón.

La chimenea situada al NNO de Almadenejos y a nivel de la "Cuarcita de base" es menos profunda que la de Chillón y tiene su cráter de

explosión muy cerca de dicha cuarcita, englobando entre las tobas y brechas grandes bloques de esta cuarcita. Actualmente se están llevando a cabo investigaciones geoquímicas más detalladas en las dos zonas descritas.

Además se conocen otros indicios de cinabrio en tobas y lavas básicas, aunque no ligadas directamente a chimeneas volcánicas. El único de cierta importancia es el de Guadalperal que fue objeto de una antigua explotación.

Una fuerte anomalía geoquímica de cinabrio al NE de Almadén se ha encontrado también, coincidiendo perfectamente con la microdiorita-dolerita intrusiva situada en este lugar (véase fig. 1). Este hecho está de acuerdo con la presencia de pequeñas pintas de cinabrio que se observan en fracturas de rocas doleríticas situadas dentro de los edificios volcánicos.

Los aportes de cinabrio que mineralizaron la "Cuarcita de Criadero" en Almadén, La Panera y El Entredicho en el Silúrico, continuaron afluyendo en el paso Silúrico-Devónico dando lugar a las mineralizaciones de la "Cuarcita de las Cuevas" y también durante el Devónico inferior y superior como se ha indicado anteriormente y siempre ligados al volcanismo básico. La mineralización de las doleritas indicaría una misma fuente magmática que la de las rocas volcánicas, bastante factible dada la similitud mineralógica entre los dos tipos de rocas. Las últimas mineralizaciones de cinabrio tendrían por tanto la misma edad que las doleritas pre-tectónicas (¿parte alta Devónico superior?).

El otro tipo de mineralización es la de Pb-Zn, situada en las lavas riolíticas del flanco N del sinclinal. Estas gruesas coladas de lavas parecen concordantes excepto en su parte oriental (La Fidela) donde guardan una relación menos clara con el encajante, aparte de estar en una zona muy fracturada. En este punto existía una explotación minera.

## PETROLOGIA: ROCAS VOLCANICAS Y SUBVOLCANICAS

En el complejo volcano-sedimentario se pueden diferenciar unas tobas y lavas que constituyen los aparatos volcánicos cuya morfología ha sido descrita anteriormente y unas rocas subvolcánicas intruidas formando sills. algunos de ellos de gran potencia. Estos últimos se pueden encontrar tanto entre material detrítico como volcánico.



## Tobas

La mayor parte del material que forma los conos son tobas con un tamaño que oscila entre 0,5 y 5 mm, lo cual es típico de un volcanismo submarino de poca profundidad (TAZIEFF, 1972; HONNOREZ et al., 1975). Las tobas de los conos volcánicos están estratificadas y tienen una estructura gradada (graded bedding), en capas que pueden tener sólo unos milímetros de espesor. La mayor parte de estas tobas tienen un carácter vítreo-lítico, con fragmentos principalmente de lavas. Es de resaltar que muchos de los fragmentos de lavas son de lavas vacuolares. Es frecuente encontrar en la matriz pequeños granos de cuarzo sub-redondeados de carácter detrítico.

Las brechas son escasas, situándose principalmente en la base de los edificios volcánicos al igual que las tobas y brechas con fragmentos de pizarras y cuarcitas arrancados a las paredes. Este último tipo es el llamado "Roca Frailesca" (PRADO, 1855) en la región.

Se observa por tanto muy poca variación en la composición de las tobas, pero al estar fuertemente alteradas, su identificación en el campo puede resultar difícil. Las tobas de las chimeneas volcánicas tienen la misma composición, pero están altamente alteradas y tienen un carácter más masivo.

La chimenea ácida de Almadenejos está formada por una toba consistente en trozos de vidrio desvitrificado que engloba cristales de cuarzo y restos de cuarcitas, arrancados de las paredes.

## Lavas

Las lavas generalmente están subordinadas a las tobas en los edificios volcánicos aunque también se encuentran en sills intruidos. La petrología de los sills no difiere de la de las lavas. Existen varios tipos de lavas atendiendo a su grado de basicidad, desde basaltos con olivino hasta términos muy ácidos (riolitas o dacitas). Las lavas basálticas tienen una textura porfírica con fenocristales de olivino, augita y labradorita (An 65), y con una matriz formada por cristales de plagioclasa, normalmente carbonatados, augita, clorita, carbonato, óxidos de hierro y magnetita. Nunca se encuentra olivino en la matriz. Otras variedades de basaltos son los vacuolares, con las vacuolas rellenas con diversos minerales (ceolitas, cuarzo coloidal, clorita, sericita y carbonatos) y una variedad de basalto con hornblenda.

Los términos menos básicos se diferencian principalmente por una pequeña disminución en la cantidad de ferromagnesianos y por una menor basicidad de las plagioclasas que corresponden a andesinas (An 43). Estas rocas son desde el punto de vista mineralógico unas "andesitas" aunque genéticamente no podemos afirmar que sean verdaderas andesitas, pertenecientes a una serie calcoalcalina.

Los términos ácidos de la serie tienen una textura con fenocristales de cuarzo pseudo-hexagonal (alta temperatura) corroídos por la matriz que está formada por una pasta microcristalina de cuarzo y feldespato potásico. En algunos casos la matriz es un vidrio desvitrificado (clorita). Estas rocas podrían ser riolitas o términos próximos a ellas.

Aunque muy vagamente parece que en cada cono volcánico hay una diferenciación, aumentando los términos ácidos hacia el techo del cono. En particular, las gruesas coladas riolíticas del flanco N del sinclinal se sitúan a techo de uno de estos conos. Es muy frecuente que en la parte superior de cada cono aparezcan pequeños niveles de "chert" (30-50 cm) concordantes con las tobas y lavas, debido a la actividad fumarólica. El flanco S del sinclinal también tiene capas de "chert" intercaladas y en las lavas hay núcleos de jaspes rojos.

La cloritización y carbonatación son las alteraciones más importantes en todas las rocas volcánicas del Devónico de Almadén. La alteración se produce de manera muy irregular y en algunas muestras es tan intensa que transforma la paragénesis primaria en una de baja temperatura con clorita, cuarzo, carbonatos, óxidos de hierro, prehnita y albita (An 5) (SAUPE, 1973). Estas rocas tienen una composición espilitica.

## Rocas subvolcánicas. Modo de yacimiento

Estas rocas ya fueron descritas anteriormente por ALMELA (1962); SAUPE (1973) y COULLAUT et al. (in litt.) en un único afloramiento en el Km 2,5 de la carretera de Almadén a Saceruela. En el núcleo del sinclinal existen otros dos afloramientos alineados con el anterior y limitados por fallas. Todos estos afloramientos cortan a las capas de tobas y lavas con un ángulo de unos 10°.

Otro cuerpo subvolcánico está situado al NE de Almadén y se intruye aproximadamente en el contacto entre los materiales detríticos y el nivel de tobas retrabajadas, cortando a la estratificación. Este cuerpo tiene unas dimensiones no-

tables (600 x 450 m) y es muy interesante por tener una anomalía geoquímica de cinabrio. Finalmente en el extremo oriental del sinclinal aparecen unos sills de unos 90 m de potencia, encajados también en contactos entre material sedimentario y volcánico y que están plegados juntamente con él. Este hecho nos confirma el carácter pre-tectónico de estos cuerpos doleríticos.

### Petrología de las rocas subvolcánicas

Son rocas de grano grueso con textura sub-óptica y presentan dos tipos principales. En el primero de ellos la plagioclasa varía en composición desde una andesina (An 35) a una labradorita (An 60), contiene pequeñas cantidades de olivino, los piroxenos son augitas, y finalmente ilmenita esquelética y magnetita. La alteración principal es la cloritización. Estas rocas pueden ser clasificadas como doleritas.

El otro tipo de roca es menos básica y contiene oligoclasa (An 25) y andesina (An 38), con desaparición total del olivino y menos cantidad de piroxenos, al mismo tiempo que aparecen cuarzos de alta temperatura y en algunas ocasiones feldespato potásico peritítico. La plagioclasa tiene epidota en pequeñas cantidades. El cuarzo puede tener apatito incluido. Estas rocas de composición más ácida se pueden clasificar como microdioritas.

Como puede verse, estas rocas subvolcánicas no tienen ningún cambio apreciable en la composición mineralógica con respecto a los materiales volcánicos anteriormente detallados. Los dos tipos descritos pueden encontrarse en un mismo afloramiento y a escasos metros el uno del otro. La similitud mineralógica, su posible contenido en cinabrio y su claro carácter pre-tectónico indican un mismo origen magmático que los materiales volcánicos del Devónico superior.

### Conclusiones

En los términos basálticos de esta serie el olivino se presenta sólo como fenocristales y en algún caso aislado se observa la formación de piroxeno alrededor del olivino (reacción de BOWEN-ANDERSON). Estos hechos junto con la presencia de términos intermedios y ácidos de tipo andesita-riolita y la ausencia de traquitas o rocas ácidas peralcalinas indican que se trata de rocas de la serie toleítica (WILKINSON, 1967) o menos probablemente calcoalcalina. No obstante el único piroxeno que parece encontrarse es una

augita, sin que se observe pigeonita ni tampoco ortopiroxenos en la matriz, como correspondería a una serie toleítica o calcoalcalina respectivamente.

Desde el punto de vista geoquímico hay algunos datos que pueden complementar los petrográficos. SAUPE (1973) por medio de análisis geoquímicos encuentra una afinidad toleítica para las doleritas, siendo la interpretación de los basaltos un poco más ambigua. En este trabajo se han proyectado algunos análisis citados en la tesis de este autor en los diagramas  $SiO_2 - Na_2O + K_2O$  y  $Al_2O_3 - Na_2O + K_2O$  de KUNO (1967) (fig. 5). Como se puede observar en los gráficos, las doleritas pre-ordovícicas están claramente dentro del campo de los basaltos alcalinos, mien-

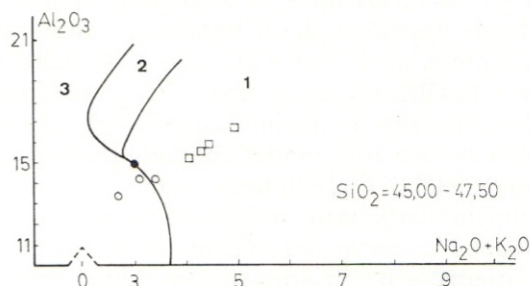
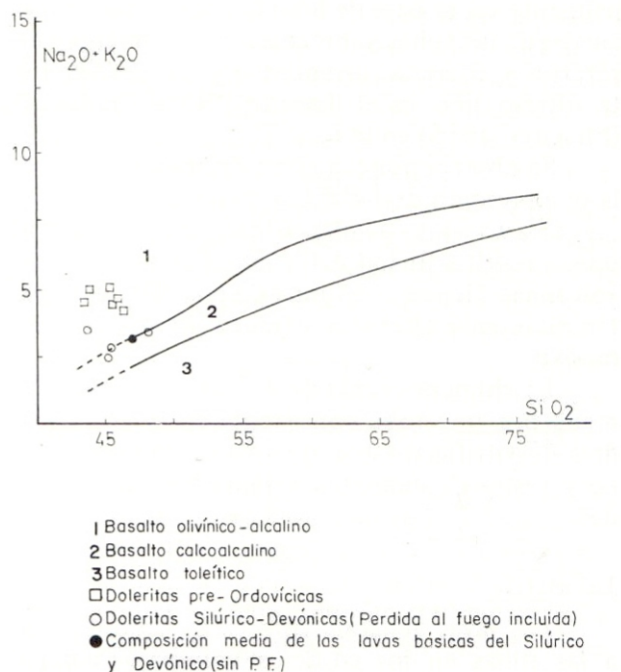


Fig. 5.- Gráficas  $SiO_2 - Na_2O + K_2O$  y  $Al_2O_3 - Na_2O + K_2O$  de KUNO (1967).

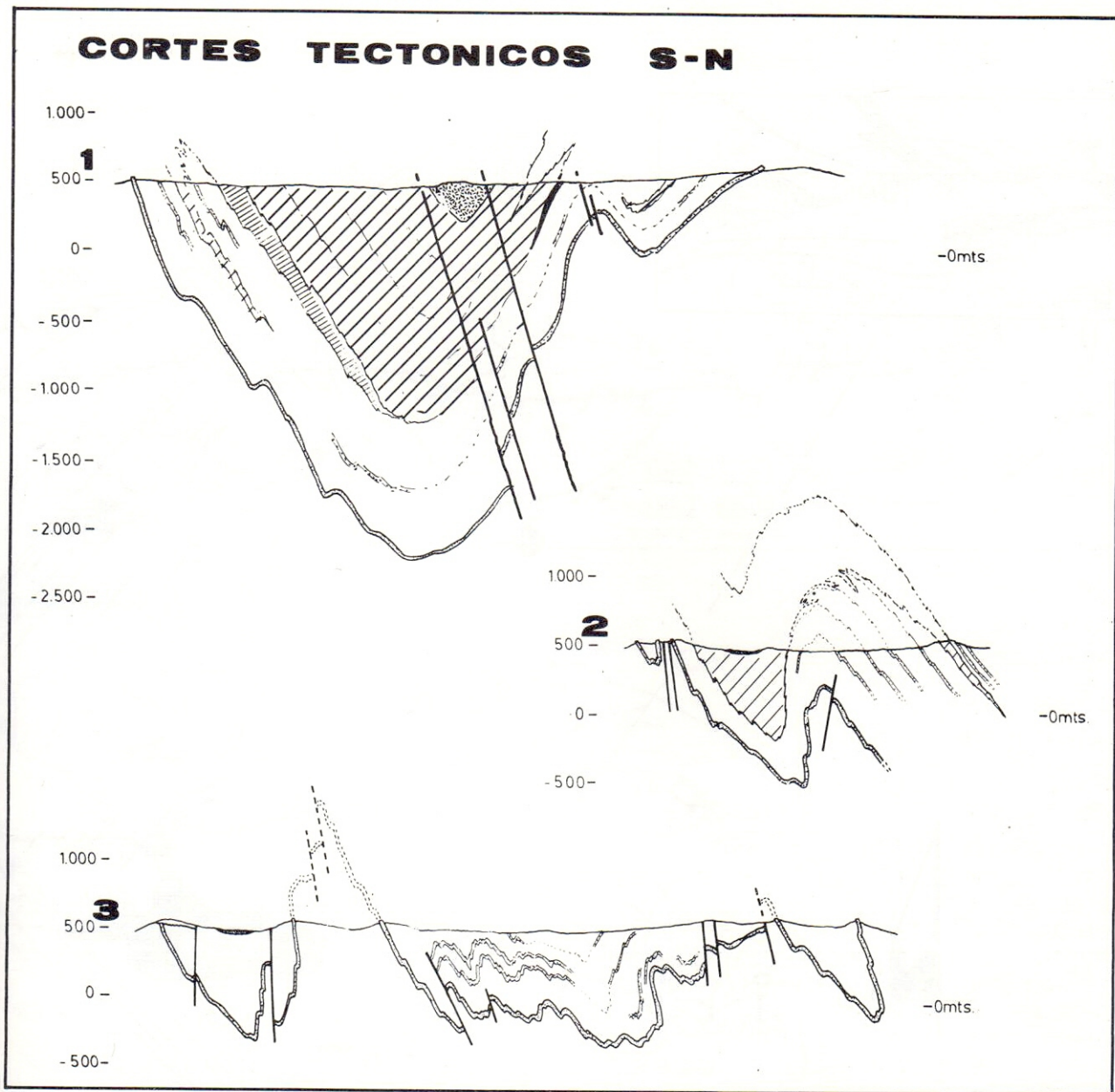
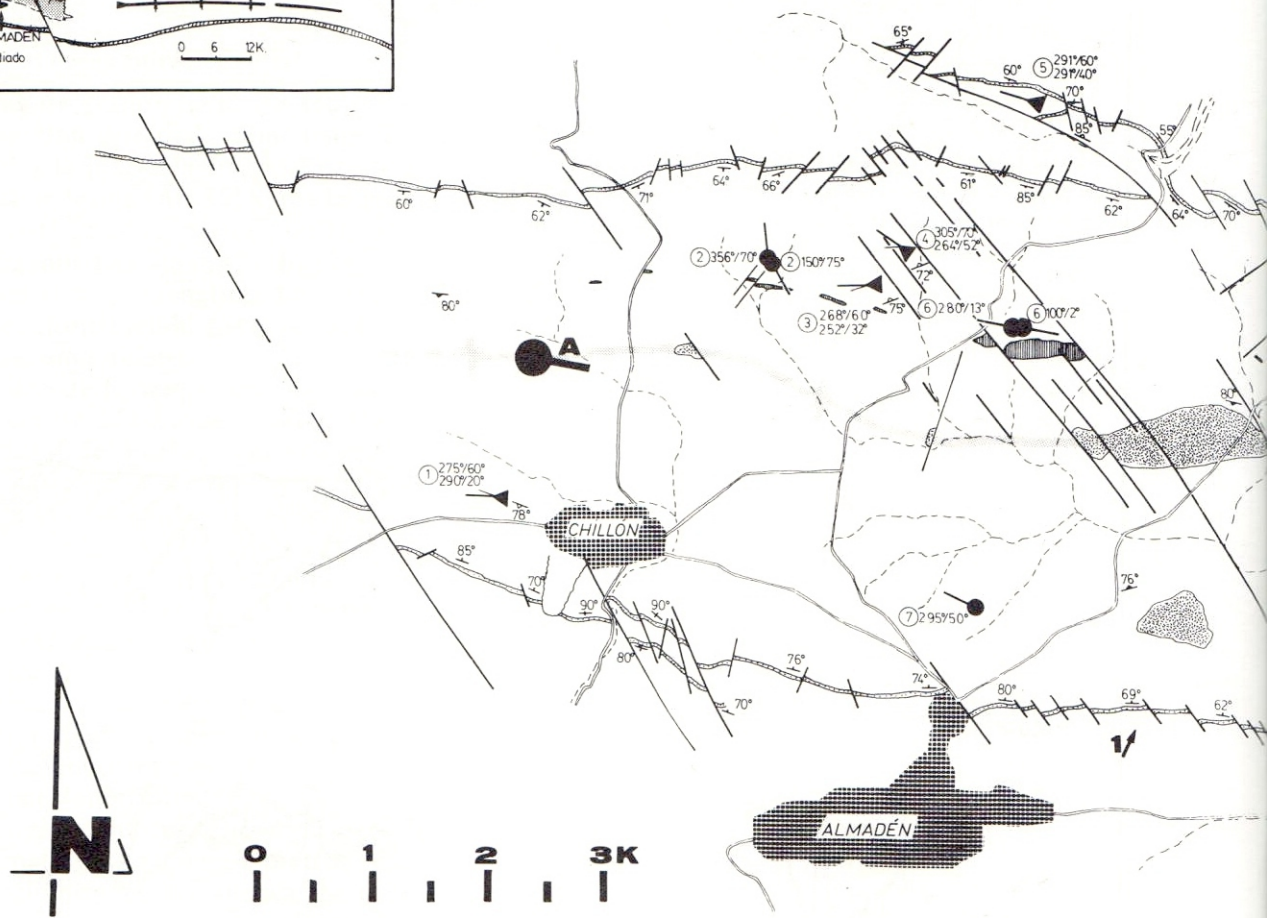
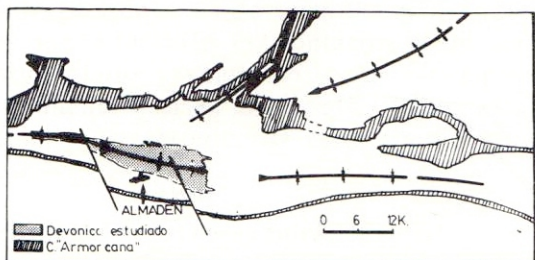


Fig. 6.— Cortes tectónicos aproximadamente N-S. El primero de ellos está efectuado en la parte central del sinclinal, mientras que el dos y el tres son de la terminación periclinal.

tras que la composición media de las lavas básicas del Silúrico y Devónico cae justamente entre los campos de los basaltos alcalinos y calcoalcalinos (fig. 5, a) y entre los campos de los basaltos alcalinos y toleíticos (fig. 5, b). Como la composición media abarca los basaltos silúricos y devónicos podemos afirmar que mientras el volcanismo silúrico con enclaves peridotíticos en El Entredicho (COULLAUT et al., in litt.) excluye la serie toleítica, los datos geoquímicos junto con

los petrográficos de las lavas del Devónico indican que se trata de una serie volcánica más bien de afinidades toleíticas, aunque con ciertas particularidades como la presencia de un solo piroxeno (augita), que parece señalar cierta naturaleza transicional hacia el campo alcalino. En lo que respecta a los términos más diferenciados como las andesitas, dacitas y riolitas son francamente contradictorios con una naturaleza alcalina.

Desde un punto de vista más general, si se



Cuaternario		ALUVIONES
Carbon. sup.		SEDIMENTOS GLACIARES
Devonico inf - sup.		DOLERITAS RIOLITAS
Silurico-Ord.		COMPLEJO VULCANO-SEDIMENTARIO
Ordovícico		"CUARCITA DE BASE"
		"CUARCITA ARMORICANA"

	contactos
	fallas
	buzamientos capas
	planos axiales
	esquistosidad
	traza axial
	anticlinal
	sinclinal

generales		dm. y hm.	metricos
		sind. (cierra en profund.) anticl. (abre en profund.)	
		90°/70° dirección eje K. 112°/40° " " " " eje D. (charnela)	
		nº proyección estereografica	
		1/ cortes tectonicos	

**SITUACIÓN DE EJES.**

J. VERGÉS 1980

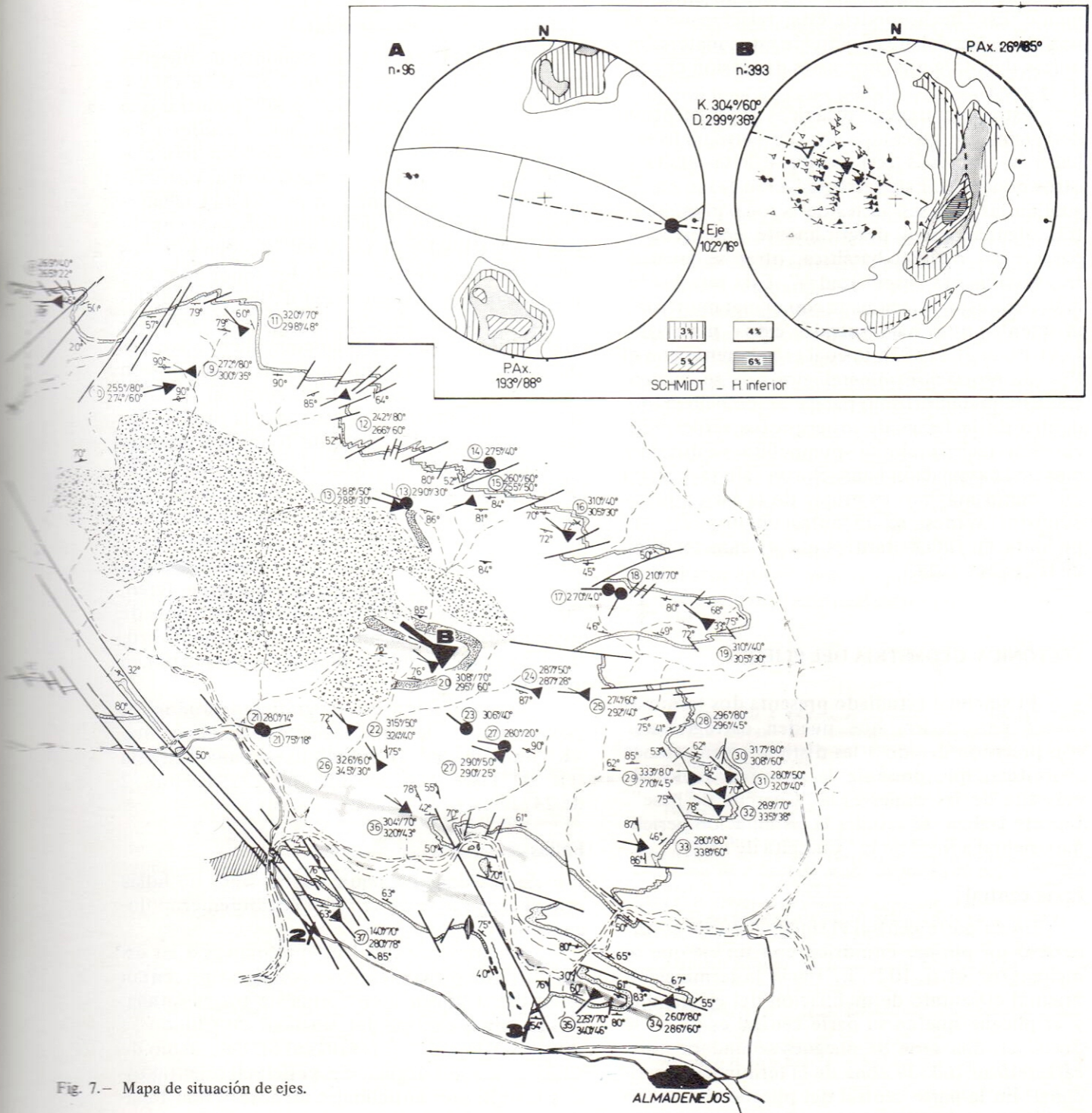


Fig. 7.- Mapa de situación de ejes.

observa la evolución del volcanismo en el área desde antes del Ordovícico se evidencia (fig. 5) un desplazamiento del quimismo desde el campo francamente alcalino hasta el referido anteriormente. Este hecho podría estar relacionado con una elevación del área fuente de estos materiales, quizás debido a una progresiva distensión crustal de la zona.

Estos materiales volcánicos se encuentran desigualmente afectados por una retrogradación hacia asociaciones con clorita—calcita—albita y otros minerales. Esta retrogradación es muy desigual en las diversas partes de la roca, pues mientras algunas zonas prácticamente conservan la paragénesis original basáltica, otras se encuentran totalmente “espilitizadas”. Esta retrogradación debe estar relacionada con el metamorfismo incipiente que han sufrido estos materiales (SAUPE et al., 1977), lo cual es coherente con el tipo de asociación mineralógica que se encuentra. Este metamorfismo parece ser de bajo grado, dentro de la facies de los esquistos verdes e incluso de facies prehnita—pumpellita, ya que además de la asociación banal clorita—albita—calcita que como máximo es propia de la facies de los esquistos verdes, se encontró en una muestra prehnita en filones tardíos que es característico de la facies citada.

## TECTONICA. GEOMETRIA DEL PLIEGUE

El sinclinal estudiado presenta dos terminaciones periclinales, que pueden cartografiarse con precisión debido a las distintas formaciones cuarcíticas que presenta la serie paleozoica, la más alta de las cuales es la “Cuarcita de base”. En este trabajo se estudia la terminación periclinal oriental a nivel de la “Cuarcita de base”.

### Parte central

En su parte central el sinclinal puede considerarse un pliegue cilíndrico con un eje que se inclina  $16^\circ$  al N  $102^\circ$  E. Hacia la terminación oriental el sentido de inclinación del eje cambia y el pliegue que en su parte central es único se divide en una serie de pliegues secundarios que caracterizan toda la zona de la terminación periclinal. En la parte central del pliegue, el trazado rectilíneo de los flancos y su fuerte buzamiento parecen indicar que se trata de un sinclinal con pocos pliegues menores asociados. La esquistosidad en esta parte central buza indistintamente al

N o al S, pero es siempre subvertical. Es una esquistosidad de plano axial muy tenue que afecta solamente a los términos pizarrosos (fig. 7).

### Terminación periclinal oriental

Está formada por un conjunto de pliegues menores cónicos, con los ejes “K” de HAMAN (1961) inclinados entre  $60^\circ$  y  $80^\circ$  mientras que las charnelas tienen inclinaciones menores y direcciones más próximas al N. En esta terminación, los sinclinales abren hacia arriba, mientras que los pocos anticlinales que no están fallados abren hacia abajo, es decir, que los conos anticlinales y sinclinales tienen los vértices en sentidos opuestos. Esta disposición de los conos queda de manifiesto por la disposición de los polos de las capas de los anticlinales en proyección estereográfica (fig. 7) que se sitúan coincidiendo con los polos de las capas de los sinclinales, igual que en la terminación occidental del sinclinal de Gualmez (MARTINEZ, in litt.). Así la proyección de los polos de las capas de todos los pliegues secundarios tanto anticlinales como sinclinales de la terminación periclinal dibujan media circunferencia menor y no una circunferencia entera como ocurriría si los conos sinclinales y anticlinales tuvieran el vértice en el mismo sentido. Los puntos que no caen en la misma circunferencia menor representan los polos de las capas de los flancos N de los sinclinales que están invertidos. La mayoría de los pliegues menores tienen vergencia S (fig. 6).

La proyección estereográfica de todos los polos y ejes de la terminación dan un eje cónico “K” buzando  $60^\circ$  al N  $304^\circ$  E, con una charnela (eje “D”) que se inclina  $36^\circ$  al N  $299^\circ$  E y un  $\delta/2$  de  $24^\circ$ .

### Fallas

Se pueden distinguir cuatro tipos de fallas principales que se describirán por orden cronológico.

Las primeras son contemporáneas a las estructuras de plegamiento mayores y se presentan asociadas a pliegues en forma de pliegues-falla. En la parte central del sinclinal de Chillón se puede ver una de estas fallas al SE del pueblo de Chillón. En la terminación periclinal oriental todos los pliegues anticlinales menores están fallados.

El segundo grupo de fallas, afectan principalmente al flanco S y cortan prácticamente todo el pliegue. Son grandes fallas de dirección N

145° E. Parecen fallas en tijera con hundimiento del flanco oriental y con desplazamientos mayores en la parte SE. La separación horizontal producida por la falla del Puente de Valdeazogues en la carretera de Almadenejos es de unos dos kilómetros. Además de estas grandes fallas hay un gran número de pequeñas fallas que tienen la misma dirección y que cortan a la "Cuarcita de base" a lo largo del flanco S, observándose una rotación en los bloques de cuarcita entre dos fallas adyacentes. Conjugado con las fallas del sistema principal descrito, se encuentra un sistema N 20° E que alcanza menos desarrollo. Estos dos sistemas conjugados son posteriores al emplazamiento de los cuerpos subvolcánicos (doleritas y microdioritas).

El tercer grupo simultáneo con el anterior está formado por unas fallas de dirección N 145° E que aparecen sólo en el flanco N. Son fallas inversas que producen un acortamiento de dicho flanco.

Finalmente aparecen unas fallas distensivas tardías, de poca magnitud, con direcciones N 40° E y N 168° E que cortan a todas las anteriores.

## Conclusiones

El núcleo del sinclinal de Almadén, consi-

derando como tal la parte situada por encima de la "Cuarcita de base" es una forma compuesta de una parte más o menos cilíndrica en su zona central y una parte más compleja formada por varios pliegues cónicos que constituyen la terminación periclinal. Esta estructura puede explicarse como una consecuencia de la inflexión axial que conduce a la elevación del eje en esta zona y por tanto a la existencia de la terminación periclinal. Esta inflexión sería la causante tanto del cambio de forma geométrica (paso de la forma cilíndrica a la cónica) como de la aparición de varios pliegues en la terminación periclinal. Esta disposición es frecuente en los pliegues de la región, que se caracterizan por sus terminaciones periclinales digitadas (MARTINEZ, in litt.).

La forma actual del sinclinal es una consecuencia de: a) los cambios en la inclinación del eje, dando lugar a las terminaciones periclinales y a problemas de acomodación por tratarse de pliegues de tipo flexural, lo que explicaría la geometría de la terminación y b) de inflexiones en la dirección del eje dando lugar a la formación de fallas de distensión en el flanco S y de compresión en el flanco N. Estas fallas pueden producirse por la curvatura de gran radio que parece existir en esta zona y principalmente más al N. Estos episodios no implican necesariamente la existencia de distintas fases tectónicas.

## BIBLIOGRAFIA

- ALMELA, A.; ALVARADO, M.; COMA, J.; FELGUEROSO, C. & QUINTERO, I. (1962).— Estudio geológico de la región de Almadén. Bol. Inst. Geol. Min. España, 73; 193-329.
- COULLAUT, J.L.; VILLOTA, J.; BABIANO, F. & AGUILAR, M.G. (in litt.).— Mapa geológico a escala 1:50.000, Hoja 16-32, Almadén. Inst. Geol. Min. España.
- GROTH, J. (1911).— Les schistes à Goniatites de Guadalmez. C.R. Acad. Sci. Paris, 158; 525-526.
- HAMAN, J. (1961).— Manual of the Stereographic projection. West Canadian Research Publications, 1 (1).
- HONNOREZ, J. & KIRST, P. (1975).— Submarine basaltic volcanism: Morphometric Parameters for Discriminating Hyaloclastites from Hyalotuff. Bull. Volcanologique, 39 (3); 441-465.
- MAASS, R. (1961).— Die geologie insbesondere das Devon im bereich der Orte Castuera-Cabeza del Buey-Monterrubio (Extremadura-Sudspanien). Abh. Akad. d. Wiss. u. d. Lit. Mainz, 2; 60-84.
- MARQUEZ, E. (1961).— Estratigrafía del Paleozoico en la región del río Guadalmez. Aportación a la geología de Sierra Morena en la parte norte del Valle de los Pedroches. Estudios Geol., 17; 187-201.
- KUNO, H. (1967).— Differentiation of Basalts Magmas, In: Basalts,

- H.H. Hess Edit. A. Poldervaart and John Wiley & Sons, 2; 623-689.
- LAURET, J. (1974).— Recherches géologiques et minières dans la région d'Almadén-Almadenejos (Espagne). These Univ. Paris Sud (Centre d'Orsay); 1-150.
- PRADO, C. (1855).— Mémoire sur la Géologie d'Almadén, d'une partie de la Sierra Morena et des Montagnes de Tolède. Bull. Soc. Géol. France, 12 (2); 182-204.
- PUSCHMANN, H. (1967).— Zum problem der Schichtlücken im Devon der Sierra Morena (Spanien). Geol. Rundschau, 56; 528-542.
- PUSCHMANN, H. (1970).— Das Paläozoikum der nördlichen Sierra Morena am Beispiel der Mulde von Herrera del Duque (Spanien). Geol. Dtsch., 19 (3); 309-329.
- SAUPE, F. (1973).— La géologie du gisement de mercure d'Almadén (prov. de Ciudad Real, Espagne). Sciences de la Terre, 29; 66-72.
- SAUPE, F.; DUNOYER, G. & TEICHMULLER, M. (1977).— Etude du Métamorphisme régional dans la zone d'Almadén (prov. de Ciudad Real, Espagne), par la cristallinité de l'illite et par le pouvoir réflecteur de la matière organique. Sciences de la Terre, 21 (3); 251-269.
- TAZIEFF, H. (1972).— About deep sea volcanism. Geol. Rundschau, 61 (2); 470-480.
- WILKINSON, J.G.F. (1967).— The petrography of basaltic rocks, In: Basalts, H.H. Hess Edit., A. Poldervaart and John Wiley & Sons, 1; 163-214.

(Recibido en Junio de 1980)