

# LAS MINERALIZACIONES URANÍFERAS DEL CEG EN LA PROVINCIA DE SALAMANCA

A. MARTÍN IZARD

**RESUMEN.**— Se resumen en este trabajo los principales caracteres tectónicos, estratigráficos y metamórficos de las mineralizaciones uraníferas encajadas en los metasedimentos del Oeste de la provincia de Salamanca, así como los aspectos mineralógicos y estructurales de los yacimientos e indicios existentes en el área.

**SUMMARY.**— The main stratigraphic, tectonic and metamorphic features of the uraniferous mineralizations hosted into de metasediments located in the west of the Salamanca province, are described in this paper. Special emphasis is made on the mineralogical and structural nature of de regional radioactive anomalies and deposits.

**Palabras clave:** Roca metamórfica, Génesis yacimiento (U), Yacimiento hidrotermal, Indicio mineral, Castilla-León (Salamanca).

**Key words:** Metamorphic rock, Genesis-of-deposit (U), Hydrothermal, Indicator mineral, Castilla-Leon (Salamanca).

## 1. INTRODUCCIÓN

La existencia de anomalías radioactivas en el área metamórfica situada al Oeste de la provincia de Salamanca se conoce desde el año 1957, en el que se encontraron metasedimentos impregnados por minerales de uranio de tipo supergénico. Sin embargo, no fue hasta principios de 1959 cuando se encontraron por vez primera minerales primarios de uranio, pechblenda en este caso, lo que permitió definir un nuevo tipo de yacimientos de uranio en la metalogénia de dicho elemento.

Sobre todos estos indicios, ARRIBAS (1962) efectuó una primera descripción, tanto de las rocas encajantes como de las mineralizaciones. Posteriormente se han venido efectuando diversos trabajos de investigación geológica y minera, primero por la JEN y posteriormente por ENUSA, que han permitido profundizar en el conocimiento geológico y metalogénico de estos interesantes yacimientos (ARRI-

BAS, 1970, 1980, 1984, 1985; ARRIBAS y otros 1983, 1984; MARTÍN IZARD y ARRIBAS, 1984).

Últimamente, los estudios mineralógicos realizados en los yacimientos más importantes, y los trabajos de investigación geológica especialmente los cartográficos y geoquímicos de detalle, llevados a cabo gracias a las facilidades dadas por ENUSA, han permitido obtener datos de gran interés para resolver los problemas metalogénicos que plantean estos yacimientos, todos ellos de características petrográficas y mineralógicas muy semejantes.

Para el estudio de estas mineralizaciones se ha seguido el siguiente esquema. En primer lugar se ha hecho una descripción geológica de todos y cada uno de los indicios y yacimientos más importantes, encuadrándolos en el marco de la geología regional, tanto desde el punto de vista estratigráfico como tectónico y metamórfico. De esta forma, una vez ubicadas todas las manifestaciones uraníferas, se han descrito las diferentes labores de investigación minera, haciendo especialmente énfasis en los sondeos con recuperación de testigo, ya que éstos han servido para contrastar los datos geológicos observados en la superficie con los correspondientes al subsuelo.

A continuación, se exponen los resultados del estudio mineralógico, la paragénesis y la sucesión mineral.

## 2. LOS INDICIOS Y YACIMIENTOS URANÍFEROS

Las investigaciones llevadas a cabo en las áreas uraníferas del C.E.G. han sufrido una evolución a lo largo del tiempo, realizándose aquéllas en diversas etapas. La primera se efectuó por métodos convencionales, esto es, realizando los perfiles radiométricos sistemáticos que permitieran detectar todas las manifestaciones con un posible potencial uranífero. De esta forma, se encontraron 84 anomalías, sobre las que se centraron las fases posteriores, en las que se llevó a cabo el estudio detallado de las más importantes. Los diferentes métodos de prospección y de estudio empleados han sido muy variados de acuerdo con los avances técnicos y con los resultados que se han ido obteniendo.

Dentro de cada una de las áreas estudiadas, los indicios uraníferos se localizan en zonas definidas (Fig. 1).

En el área sur las manifestaciones se agrupan en cinco zonas: Alameda de Gardón, Villar de la Yegua, Gallegos, Rivera de Azaba, y Río Águeda. Es en esta última zona donde ésta situado el yacimiento de Fe, que es el que tiene, por aho-

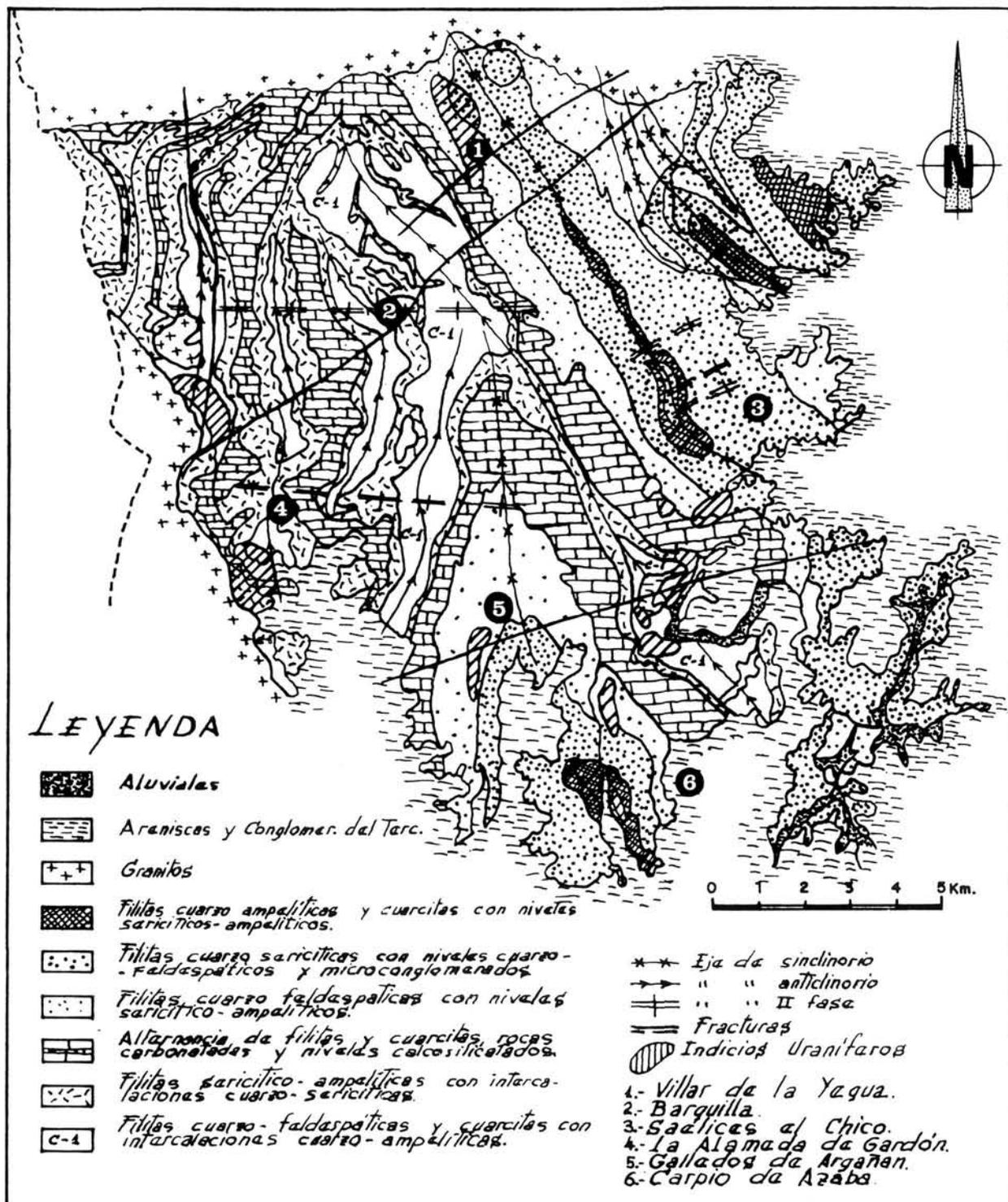


Figura 1. Esquema geológico y situación de las mineralizaciones uraníferas en el área Sur de la zona estudiada.

ra, el mayor potencial uranífero. Aparte de la mina Fe, la otra zona explotada ha sido la de Villar de la Yegua, donde se encuentra la mina Esperanza.

En el área norte, en la zona comprendida entre Villavieja de Yeltes y Pozos de Hinojo, se sitúan dos importantes anomalías (Fig. 2), una corresponde a la mina Caridad y la otra a la de Pedro Alvaro. En ambas se han efectuado labores mineras, alcanzando mayor envergadura las de la mina Caridad.

En el corredor metamórfico situado entre Fuente Liente y la frontera portuguesa, aunque existen algunas anomalías, éstas son de escaso interés, no existiendo de hecho en estos metasedimentos ningún área de importancia económica. Por ello, el estudio de las mineralizaciones uraníferas se ha centrado preferentemente en las dos primeras áreas.

## 2.1. Área Sur

Es en este área, donde los materiales del C.E.G. abarcan una superficie de más de 250 km<sup>2</sup>, en la que se localizan los yacimientos más interesantes y el mayor número de anomalías de toda la región. Por ello, a continuación se describen las características más importantes de cada una de las diferentes zonas y de sus mineralizaciones.

### 2.1.1. Zona de Alameda de Gardón

La presencia de anomalías radiactivas se conoce en este área desde principios de los años 60. Últimamente, los trabajos de investigación geológica que se están realizando en ella han permitido obtener datos de gran interés, tanto petrográficos como mineralógicos, para la interpretación metalogénica de estos yacimientos.

Las mineralizaciones están agrupadas aquí (Fig. 3) en las que se han denominado Zonas 2, 19, 21, 23, 24, 68 y 69. Todas ellas se disponen alrededor del pueblo de Alameda de Gardón, a lo largo de una franja de 6 por 1,5 km situada al oeste del pueblo, y todas ellas han sido evaluadas mediante sondeos. La franja discurre más o menos paralelamente al contacto con las rocas plutónicas, siendo característico de este área la gran cantidad de diques y pequeñas apófisis graníticas que atraviesan los materiales del C.E.G.

En la actualidad, la mineralización está en curso de investigación, para lo cual, además de los trabajos realizados con anterioridad, se está efectuando una gran cantidad de sondeos con recuperación de testigo y calicatas. Por este motivo, el conjunto de las mineralizaciones y anomalías se ha dividido en tres subzonas: Alameda Sur, situada al S. del pueblo; Dos y Cinco Nidos, al O., y sin llegar al contacto con las rocas graníticas; y Alameda Norte, al N. de esta lo-

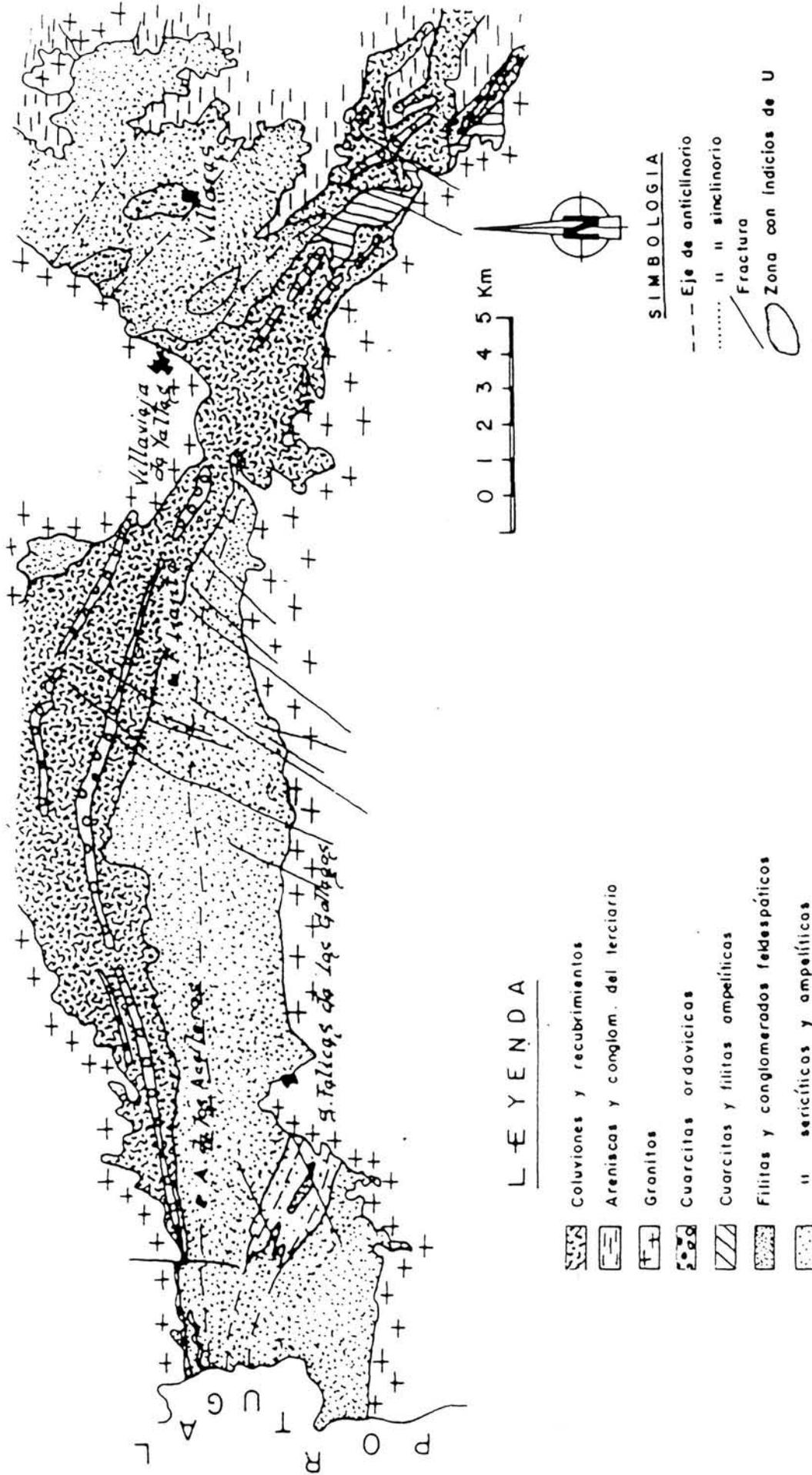


Figura 2. Esquema geológico y situación de las mineralizaciones uraníferas en el área Norte de la zona estudiada.

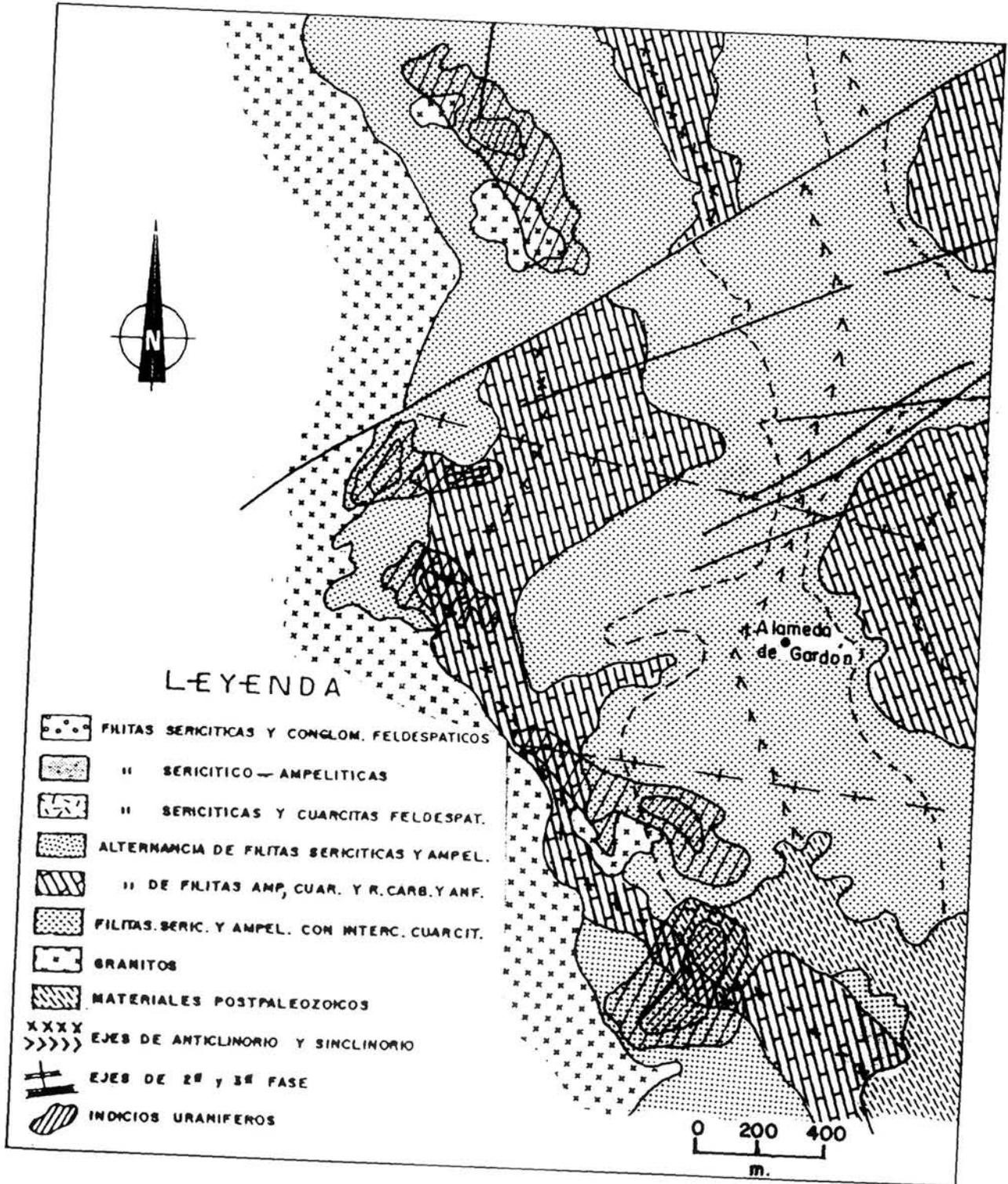


Figura 3. Esquema geológico y situación de las anomalías uraníferas en la zona de Alameda de Gardón.

calidad y que ocupa una zona más amplia y, a su vez, peor definida que las anteriores.

De todas estas subzonas, la más interesante y, por ello, la que ha recibido una atención preferente, es la de Alameda Sur. Ella presenta características totalmente semejantes a las de las otras dos subzonas, por lo que los resultados obtenidos para ella se pueden hacer extensivos a las otras dos.

Solamente para la investigación de Alameda Sur, se llevan realizados más de 250 sondeos de testigo, con una longitud total que supera los 25 km. Por ello, teniendo en cuenta la ubicación del yacimiento dentro del contexto geológico regional y local, el estudio de estos sondeos ha permitido contrastar los datos geológicos y definir con detalle las características litológicas, tectónicas y metalogénicas de las mineralizaciones.

### Caracteres litológicos

Las mineralizaciones se encuentran todas ellas ubicadas en las rocas que forman el C.E.G. y cerca del contacto con los granitos, siendo por ello frecuente encontrar diques de estas rocas atravesando los metasedimentos. Tal y como indican ARRIBAS y otros, (1983), es de destacar que sólo en dos ocasiones, de las múltiples que han sido atravesados por los sondeos, muestran estos diques anomalías radiométricas, siendo éstas de mucha menor importancia que las de los esquistos. Igualmente, se debe señalar que las características litológicas determinadas a partir de los testigos de sondeo coinciden totalmente con las conclusiones obtenidas mediante las observaciones de superficie obtenidas al efectuar la cartografía.

Las rocas metamórficas encajantes de la mineralización corresponden a cuarcitas, esquistos, y rocas carbonatadas y calcosilicatadas. Estas litologías pertenecen a los dos primeros tramos de la serie general descrita por ARRIBAS y otros (1983). En estos dos tramos, son además muy abundantes los esquistos carbonosos de carácter ampelítico más o menos marcado. Las rocas carbonatadas son, por lo general, calizas impuras calcarenitas, areniscas calcáreas y conglomerados calcáreos. Los niveles calcosilicatados están formados por anfíboles, epidota, feldespatos y ocasionalmente granates, cuarzo y carbonatos. El resto de las rocas corresponden a cuarcitas y filitas típicas de las plataformas siliciclásticas. A su vez, y dada la proximidad del yacimiento al contacto con las rocas graníticas, los metasedimentos se encuentran afectados por las aureolas de metamorfismo térmico.

### Caracteres tectónicos

En la zona de Alameda de Gardón se sucedieron diferentes esfuerzos tectónicos, los cuales dieron lugar a una superposición de fases que se pueden reconocer tanto al microscopio como de visu.

La primera fase dio lugar a macroestructuras, anticlinorios y sinclinorios, de dirección aproximada N-S, vergentes al E. Estas macroestructuras llevan asociadas, a su vez, una gran cantidad de pliegues menores, así como una esquistosidad de flujo de plano axial. En general, los flancos inversos de estas estructuras pueden estar fracturados y haber sufrido una fuerte silicificación a favor de los planos de cizallamiento asociados (Fig. 4). Cabe destacar que las zonas anómalas están situadas, por lo general, a lo largo del flanco inverso y en la zona de charnela de una estructura de primera fase, la cual podría haber funcionado como se indica en el esquema de la Fig. 4 (PALERO, 1983).

La segunda fase, aunque es muy irregular a nivel regional, se muestra con particular intensidad en esta zona, siendo ésta una de las más afectadas por ella. Dio lugar aquí a la formación de pliegues, los cuales tienen una longitud de onda e intensidad menor que los pliegues de la fase anterior, y una mayor vergencia que la de aquellos, la cual es, en este caso, al N. Por otro lado, tal y como ocurre con la primera fase tectónica, en los flancos invertidos y zonas próximas a las charnelas se desarrollaron fracturas de cizalla y silicificaciones análogas a las del caso anterior. Por ello, en las zonas donde interfieren los planos axiales de ambos plegamientos (Fig. 5), se crean zonas caracterizadas por una marcada debilidad, por donde las rocas rompen con mayor facilidad, de forma análoga a como indicó ya COMA (1985).

La tercera fase de plegamiento es mucho más suave que las anteriores y dio lugar únicamente a un abombamiento de las estructuras, lo que provocó la dispersión de la  $L_2$  existente en este área. A esta fase se asocia una crenulación de la  $S_2$  en los términos más pelíticos.

Posteriormente a estas tres etapas, con las que suelen ir asociados diversos tipos de fracturación —de los cuales, el más frecuente, corresponde a las fallas asociadas con el flanco de los pliegues—, hay una, muy frecuente en toda la zona, provocada por las fases finales de la orogenia hercínica, y que está más acentuada en aquellos lugares que, por sus características tectónicas, son más favorables.

Durante los contragolpes de la orogenia alpina, además de la posible aparición de nuevas fracturas, las anteriores pudieron reactivarse.

Las fracturas que han dado origen a las brechas portadoras de la mineralización tienen, en este área, las direcciones N 20 E, N 50 E, N 110 E y N 160 E.

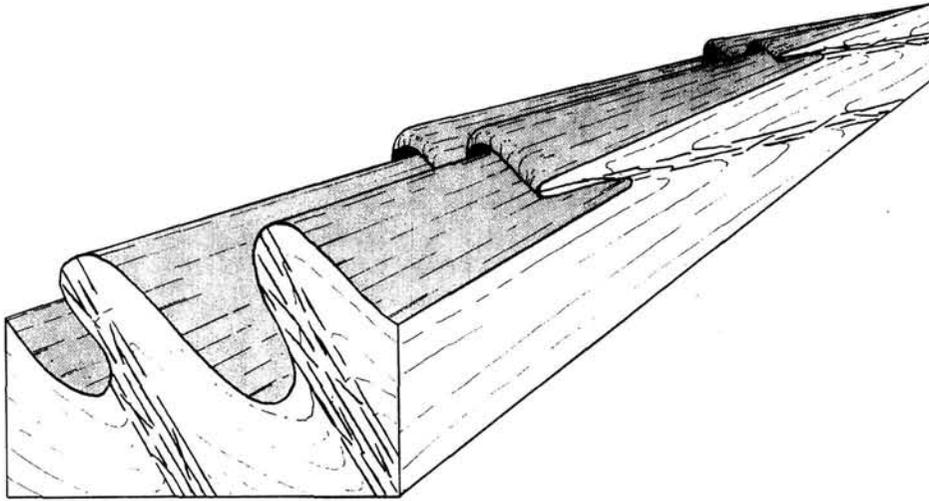


Figura 4. Esquema del cizallamiento dúctil-frágil, con desarrollo de grietas de tensión rellenas por cuarzo, y con silificación en las zonas de charnela y flancos inversos de los pliegues.

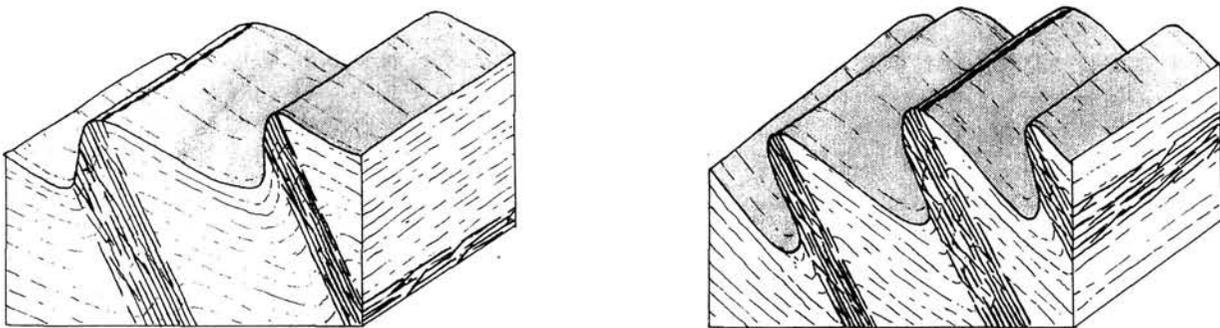


Figura 5. Cuando se presentan dos fases tectónicas superpuestas y con ejes cruzados, los fenómenos de cizallamiento y silicificación son especialmente intensos en las zonas de cruce.

### 2.1.2. Zona de Villar de la Yegua

Al igual que en el resto del área, las anomalías radioactivas en esta zona se conocen desde finales de los años 50 (ARRIBAS, 1962). Durante los años 60, la JEN realizó en la denominada mina Esperanza labores de exploración por medio de pozos y galerías. Una vez abandonadas estas explotaciones, ENUSA ha realizado y está llevando a cabo sondeos con recuperación de testigo y rotopercusión con el fin de ubicar y determinar la extensión de la mineralización, lo que ha permitido conocer con mayor precisión los caracteres geológicos y metalogénicos de la zona. Sin embargo, por haberse realizado en ella menos labores de investigación que en la de Alameda, se conoce peor que ésta en detalle, aunque está bien definida en sus caracteres generales.

Hay que destacar que, en esta zona, si bien las anomalías más importantes están situadas cerca de la mina Esperanza (Fig. 6) la superficie en la cual se han detectado minerales secundarios de uranio se extiende hacia el S., hasta más allá del pueblo de Villar de la Yegua, y NE, hasta el granito, formando en conjunto una franja de más de 1 km. de ancho por unos 3 kms. de largo. En este caso, y al contrario de lo que ocurre en Alameda de Gardón, la franja anómala tiende a alejarse del contacto con los granitos y disponerse en dirección más o menos paralela a la estratificación.

#### Caracteres litológicos

Las mineralizaciones se sitúan únicamente en las rocas del C.E.G., no existiendo ninguna anomalía en los granitos próximos a mina Esperanza. Las rocas encajantes de la mineralización corresponden, en su mayor parte, al tramo 3 definido por ARRIBAS y otros (1983), aunque localmente pueden abarcar también parte del tramo 4. Los materiales más característicos de estos tramos son, además de las rocas ampelíticas, las filitas y cuarzo filitas, encontrándose, al entrar en el tramo 4, niveles microconglomeráticos.

Es de destacar que los niveles filíticos tienen en este área un marcado carácter ampelítico, y que la zona anómala, aunque no exactamente, viene a coincidir con los afloramientos de filitas ampelíticas. Por otro lado, las características litológicas determinadas a partir de los testigos de sondeo, así como las observaciones realizadas en el pozo y trincheras de la mina, coinciden totalmente con los datos obtenidos al efectuar la cartografía. Únicamente cabría señalar que, salvo la presencia de pequeños niveles calcosilicatados de carácter anfibólico, en esta zona no aflora ningún nivel carbonatado ni otras rocas relacionadas directamente con ellos. Igualmente, aunque estas rocas están bastante próximas al contacto con el granito, los efectos de la aureola térmica producida por las rocas intrusivas es muy escaso, salvo en un sector situado al N. de la anomalía, en el que se observa algún nivel pelítico transformado en pizarras mosqueadas.

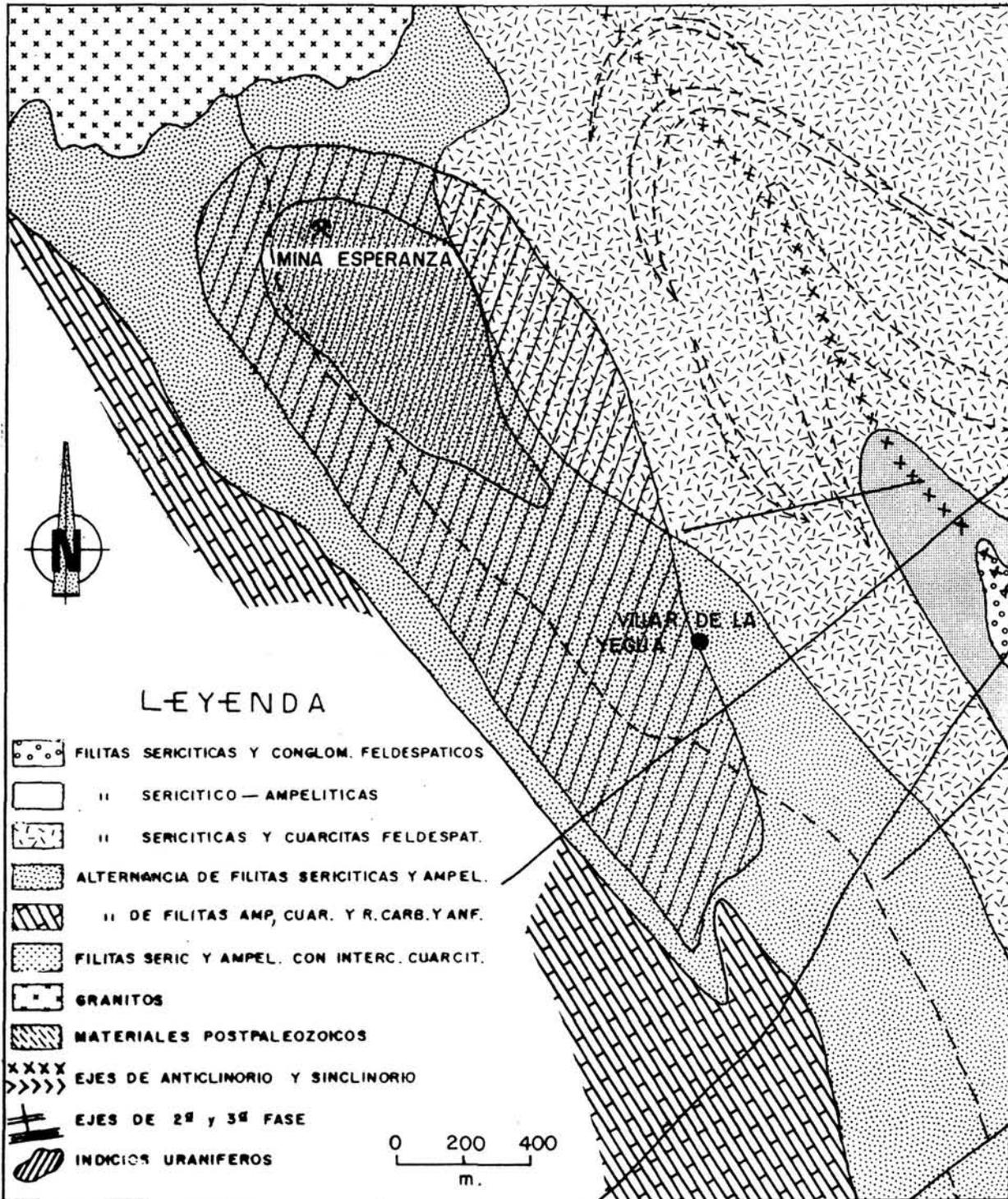


Figura 6. Esquema geológico y situación de las anomalías uraníferas en la zona de Villar de la Yegua.

### Caracteres tectónicos

De las distintas fases tectónicas que afectaron a esta zona, y que se reconocen tanto en el campo como al microscopio, la primera fase es la más importante. Ella dio lugar a grandes antiformas y sinformas, situándose la mineralización en el flanco inverso y zona de charnela de una sinforma que mide varios kilómetros de longitud y tiene una amplitud también kilométrica. La dirección de estas estructuras es de NNO, con vergencia al E. Asociados con esta macroestructura hay una gran cantidad de pliegues menores que pueden variar desde tamaños métricos a decamétricos, e incluso hectométricos.

Como ya se ha explicado anteriormente, los flancos inversos de estas estructuras son más propicios a la fracturación que los normales, hecho éste que tiene una gran importancia como factor de control de la mineralización.

Al igual que en Alameda, es de destacar que, salvo en el ángulo NE de la anomalía, que está situada en la zona de charnela, toda la mineralización se encuentra en el flanco inverso del pliegue antes mencionado, incluida la mina Esperanza.

La segunda fase, que es muy irregular a nivel regional, se muestra aquí con las mismas características. Sin embargo, es ésta una de las zonas en las que la segunda fase ha actuado con menor intensidad, salvo en las proximidades de las rocas graníticas, donde sus efectos son claramente observables. Así, en las proximidades de Villar de la Yegua, al sur del pueblo, los efectos de esta fase son escasamente apreciables, mientras que hacia el N y cerca del contacto con los granitos, sus efectos se van haciendo cada vez más notorios. Al ser ésta una zona donde la segunda fase actuó con carácter bastante restringido, los efectos de la superposición tectónica no se observan con claridad a nivel cartográfico, mientras que tanto de visu como al microscopio son perfectamente reconocibles. La dirección de estos pliegues es E-O, con vergencia al N. A señalar que, en los flancos inversos, al igual que ocurría con los diques de la fase anterior, es donde existen las condiciones más favorables para que se produzcan las fracturaciones posteriores.

La tercera fase, las fases tardihercínicas, y los contragolpes alpinos, se hicieron sentir en esta zona de forma muy semejante a como lo hicieron en la zona de Alameda de Gardón, por lo que se pueden hacer extensivos a aquélla las observaciones hechas para esta última.

Las direcciones predominantes de fractura que controlaron el depósito de la mineralización son N 160 E, N 10 E, y N 45 E.

### 2.1.3. Zona de la Rivera de Azaba

La presencia de abundantes anomalías radioactivas en esta zona, situada a lo largo del río Azaba, entre Carpio y el río Agueda, hizo que la JEN prestara a ella un especial interés, motivo por el cual, durante los años 60, se realizaron trabajos de superficie y numerosos sondeos. Los primeros, fueron principalmente calicatas y pequeñas labores a cielo abierto.

En esta zona, no se trata de un sólo indicio (Fig. 7), sino de un conjunto de ellos que se distribuyen paralelamente al curso del río y ocupan desde los términos superiores a los inferiores de la serie estratigráfica, escalonándose a lo largo de los tramos 1, 3 y 5 de la misma. Las rocas graníticas más cercanas corresponden a una pequeña apófisis, situada a algo más de 1 km al O. de la Rivera de Azaba, cuyos efectos términos no se observan en la zona que contiene las anomalías.

#### Caracteres litológicos

Las mineralizaciones se sitúan únicamente en las formaciones del C.E.G., no existiendo ninguna en los granitos, y concretamente en las rocas de los tramos 1, 3, 5 siendo prácticamente inexistentes en los tramos 2 y 4. Cabe recordar que estos dos últimos tramos pertenecen a niveles carbonatado-detríticos y cuarzo feldespáticos, los cuales, por sus características sedimentológicas, son los de menor contenido arcilloso, por lo que, están prácticamente ausentes en ellos los sedimentos de carácter ampelítico.

Así pues, los indicios uraníferos de esta zona están situados en los tramos pelíticos y cuarzo-pelíticos, muchos de ellos marcadamente ampelíticos, por lo que es evidente el control litológico de la mineralización.

Posteriormente, y gracias a los más de 1.300 mts. de sondeo realizados por ENUSA en la zona, se han podido determinar las características de la mineralización en profundidad. Ello ha permitido comprobar que las litologías sondeadas coinciden con las deducidas de los datos cartográficos, siendo muy frecuentes las alternancias pelítico-arenosas.

Se ha podido comprobar también que las anomalías están restringidas a los primeros metros sondeados y a las filitas ampelíticas.

#### Caracteres tectónicos

De las distintas fases tectónicas que actuaron en la zona, la primera es la más importante y casi la única visible, sobre todo a escala cartográfica. Las otras dos fases tectónicas están únicamente bien representadas en la unión de los ríos Azaba y Águeda, concretamente en el primer tramo de la serie estratigráfica general.

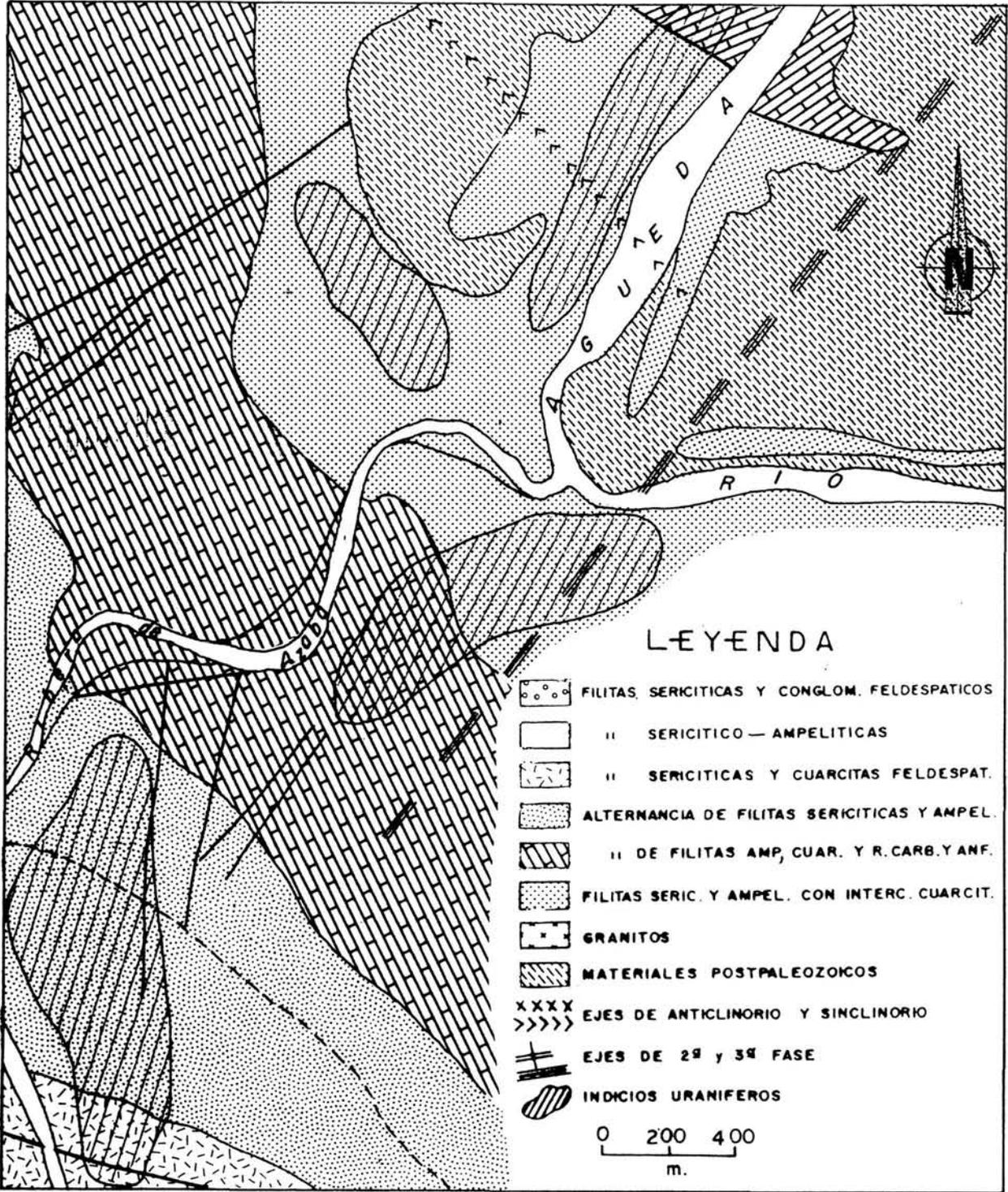


Figura 7. Esquema geológico y situación de las anomalías uraníferas en la zona de la Rivera de Azaba.

La primera fase dio lugar a un gran anticlinorio y sinclinorio, estando las anomalías uraníferas situadas en el flanco normal comprendido entre los ejes de las dos estructuras. Es decir, al contrario de lo que ocurre en otras situaciones; si bien en este caso, las anomalías, aunque en un flanco normal, muestran un fuerte control litológico. La dirección de estos pliegues es NNO, y son vergentes al NE.

La segunda fase se observa sólo en algunos afloramientos y al microscopio. Sus efectos se notan por la crenulación de los tramos más pelíticos y por el ligero cabeceo de los ejes de la primera fase. Se trata, pues, de una zona en la que los efectos de la segunda fase son mínimos. Sin embargo, hacia la desembocadura del Azaba y a partir del segundo tramo estratigráfico, los efectos de la segunda fase se van haciendo paulatinamente más notorios, si bien no llegan a alcanzar, en ningún caso, la intensidad que tienen en Alameda, o en Villar de la Yegua.

La tercera fase está bastante poco acentuada a lo largo de la Rivera de Azaba, haciéndose notar su presencia, paralelamente con la segunda, hacia la desembocadura, donde origina una antifforma fácilmente visible en la cartografía. Esta fase da lugar a una esquistosidad de fractura bastante grosera.

#### 2.1.4. Zona de Gallegos de Argañán

Al igual que en las otras zonas, la presencia de anomalías radioactivas se conoce aquí desde finales de los años 50 y principios de los 60, época en que la JEN realizó numerosos trabajos de prospección y valoración abriendo un gran número de calicatas y otras labores mineras.

Todas las mineralizaciones se distribuyen a lo largo de una estrecha franja, de aproximadamente medio kilómetro de anchura y algo más de 2 de longitud, que, partiendo del pueblo, se extiende hacia el S en dirección más o menos paralela a la de la estratificación (Fig. 8).

Aparte de los trabajos llevados a cabo por la JEN, las labores efectuadas por ENUSA en esta zona son escasas y no han permitido obtener datos nuevos de interés aparte de los ya conocidos.

#### Caracteres litológicos

Las mineralizaciones encajan en las formaciones del C.E.G., en rocas correspondientes al tramo 3 de los definidos en el capítulo de estratigrafía. Constan fundamentalmente de filitas y cuarzofilitas, las cuales pueden llegar a tener un marcado carácter ampelítico. Siendo de destacar que, al estar las anomalías parcialmente paralelas a la estratificación, aquellas coinciden en numerosas ocasiones con la presencia de los términos ampelíticos.

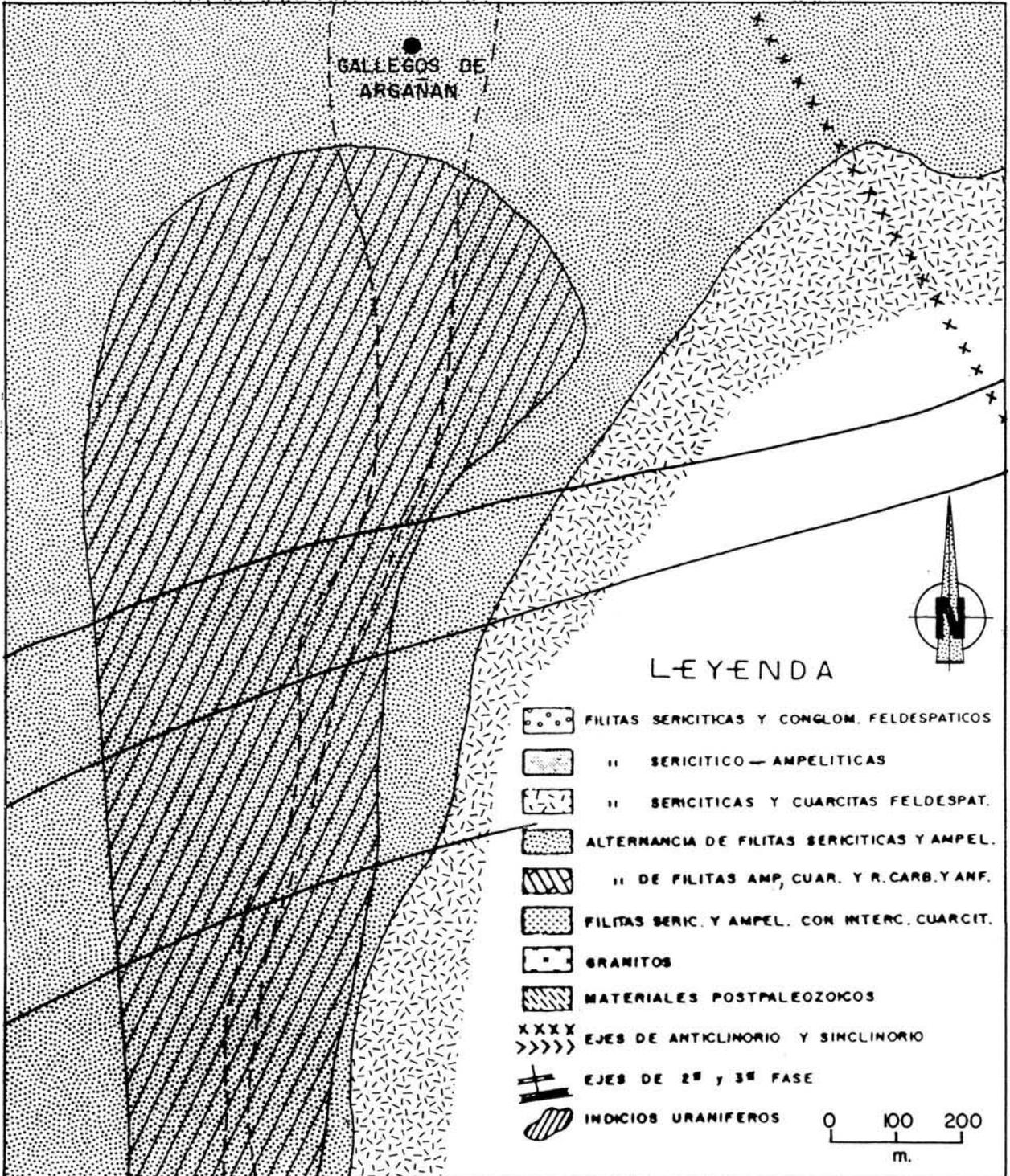


Figura 8. Esquema geológico y situación de las anomalías uraníferas de Gallegos de Argañán.

### Caracteres tectónicos

Aunque son visibles los efectos de las diferentes fases hercínicas, en esta zona la primera es la más importante de ellas. Precisamente, las anomalías se sitúan en el flanco inverso de un gran sinclinorio de la primera fase, el cual mide varios kilómetros de amplitud y longitud. La dirección del pliegue varía de NNO a casi N-S, con vergencia al E. Asociados con esta macroestructura, hay una gran cantidad de pliegues menores de tamaño muy diferente, desde métricos a casi kilométricos.

Los efectos de la segunda fase son, por el contrario, débiles, dando lugar únicamente a la aparición de crenulaciones en los términos más micáceos y a pequeños cabeceos de los ejes de la primera fase. Cabe señalar también que, coincidiendo con la presencia de las anomalías radiactivas, la zona está atravesada por una gran fractura de dirección E-O, que lleva asociadas otras muchas menores y mide varios kilómetros de longitud, y que se pierde, tanto al E. como al O, por debajo del Terciario. Como la dirección de esta fractura coincide con la de la segunda fase, podría pertenecer a ésta o estar condicionada por ella, es decir, que podría haber rejugado con posterioridad. En cualquier caso, hay que destacar que, las anomalías uraníferas están situadas en el flanco inverso de un pliegue de la primera fase, en niveles correspondientes al tercer tramo de la serie, especialmente los de carácter ampelítico, y sobre una gran fractura que ha afectado a todos los materiales del C.E.G.

El resto de las fases tectónicas van a actuar de forma muy similar a como lo hicieron en las áreas antes descritas.

Aparte de la gran fractura señalada, en esta zona existe una intensa fracturación, con direcciones dominantes N 75 E y N 160 E, si bien esta última está bastante menos desarrollada que las anteriores.

#### 2.1.5. Zona del río Águeda

También estas anomalías radioactivas fueron encontradas por la JEN a finales de los años 50, momento a partir del cual comenzaron a estudiarse. Es de destacar que en esta zona está situado el yacimiento de Fe, el mayor de España en la actualidad, y que se viene explotando por ENUSA desde 1974.

El primer estudio de estas mineralizaciones fue hecho por ARRIBAS en 1962, quien describió detalladamente la mineralogía, la paragénesis, y las características petrográficas de los materiales encajantes, tanto los que se refieren a la litología como a las transformaciones sufridas por las rocas que contienen la mineralización.

Además del gran yacimiento de Fé, los yacimientos y los indicios de esta zona están repartidos en una serie de parajes (Fig. 9) que se denominan Cuéllar,

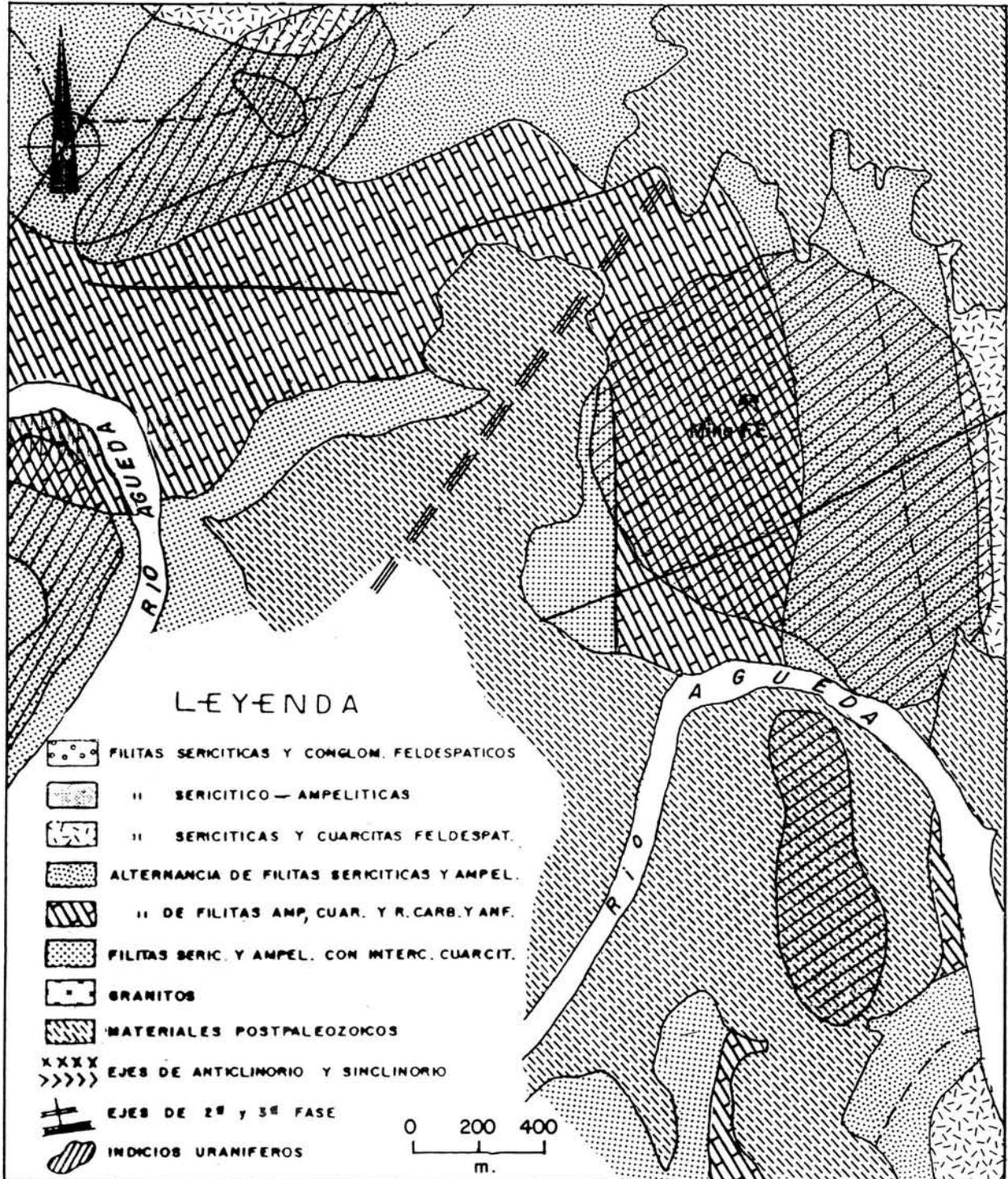


Figura 9. Esquema geológico y situación de las anomalías uraníferas en la zona del Río Águeda.

Sajeras, y Zonas M y D. Todas ellas han sido investigadas mediante sondeos y labores de superficie, tantos pozos como calicatas, lo que ha facilitado grandemente el estudio de la mineralización y las rocas encajantes. Así, aparte de Fé, donde los metros de sondeo, profundos y de wagon-drill, se cuentan por kilómetros, solamente en la zona M se han efectuado más de 5.000 m.

Han sido, pues, principalmente, el estudio de los testigos de sondeo y de los datos obtenidos en superficie, en mina Fé lo que ha permitido determinar tanto los factores litológicos como metalogénicos de la mineralización.

### Caracteres litológicos

Las mineralizaciones, situadas todas en las pizarras del C.E.G., son las más alejadas de las rocas graníticas, encontrándose las más próximas a 3 km de distancia; siendo de señalar que, ni en superficie ni en los testigos de los numerosos sondeos realizados en el yacimiento y en la zona, se aprecian señales de metamorfismo de contacto. En este sentido, se debe destacar que en el centro de mina Fé se realizó un sondeo vertical, de más de 400 m. de profundidad, en cuyos testigos no se observó ninguna característica litológica diferente de las muestras de superficie.

Todas las mineralizaciones de esta zona, a excepción de las de Cuéllar y Fé, ocupan la misma posición dentro de la columna estratigráfica regional, estando situadas en el tramo 3 y a muro del 4. Por su parte, Cuéllar y Fé se encuentran en el tramo 1 y entre él y el 4 respectivamente.

Es interesante destacar que, en las zonas con anomalías, existen abundantes niveles calcosilicatados situados, en unos casos, a muro del tramo 3, mientras que, en otros, son los que constituyen el tramo 2. Las características de estos niveles calcosilicatados son análogas a las que se han descrito en apartados anteriores. Cabe destacar, también que tanto en el tramo 1 como en el 3, los esquistos más abundantes son los que tienen carácter ampelítico.

### Caracteres tectónicos

También en esta zona se superponen los efectos de las diferentes fases, lo que ha dado lugar a una deformación y fracturación de los metasedimentos que, en este caso, presentan una serie de peculiaridades. Esta superposición de efectos tectónicos se reconoce tanto de visu como al microscopio, y se pueden describir como sigue.

La primera fase dio lugar a la formación de pliegues de tamaño kilométrico, tanto en amplitud como en longitud, que forman anticlinorios y sinclinorios de dirección NNO a N-S y que vergen hacia el NE y E respectivamente. Estas macroestructuras llevan asociados numerosos pliegues menores, cuyo tamaño puede

variar de métrico a kilométrico, y una esquistosidad de flujo de plano axial. Al igual que ocurre en otras áreas, los flancos inversos de estas estructuras pueden estar fracturados o bien haber sufrido una silicificación y los efectos de las cizallas asociadas con el plegamiento. Todas estas zonas anómalas y los yacimientos de U están situados en el flanco inverso, situado entre el gran anticlinal del Águeda, el mayor de la región, y el sinclinorio que, desde Villar del Ciervo, llega hasta Saelices el Chico. Este enorme pliegue, de varios kilómetros de amplitud, lleva asociada una gran cantidad de estructuras menores, de tamaño hasta kilométrico, que pueden haber funcionado según el esquema de la Fig. 4.

La segunda fase, muy irregular a nivel regional, alcanza en esta zona una marcada intensidad. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en la zona de Alameda, que es también una de las más afectadas por ella, no existen aquí, en la proximidad, rocas plutónicas. Esto la confiere un interés particular, dado que la segunda fase, que normalmente va asociada a las intrusiones graníticas, es aquí muy intensa, mientras que en la zona no se ven rocas ígneas. Por otra parte, esta segunda fase dio lugar a anticlinorios y sinclinorios, de dirección aproximadamente E-O y vergentes hacia el sur, mucho más verticales que los del área de Alameda. También aquí, al igual que en casos anteriores, los flancos inversos de los pliegues son zonas muy favorables para el desarrollo de fracturas o para la creación de zonas de debilidad las que van a ser aprovechadas por las fases tectónicas posteriores.

La tercera fase tectónica, cuyos efectos son poco notables en el resto del área, adquieren en esta zona su mayor intensidad. Así, esta fase ha dado lugar aquí a la formación de grandes pliegues, de dirección aproximadamente NNE y que llevan asociada una esquistosidad de fractura subvertical, que, al superponerse a los pliegues de las dos fases anteriores, además de provocar la dispersión de sus ejes, ha dado lugar a un área particularmente deformada y que presenta mayores características de fragilidad que las de las otras zonas.

Con posterioridad a estas tres etapas, y sobre todo en esta zona que presenta características tan particulares, actuaron las restantes fases hercínicas y los contragolpes de la orogenia alpina, los cuales, al encontrarse con materiales muy anisótropos, reactivaron de forma particularmente intensa las fracturas preexistentes.

Las direcciones dominantes en las fracturas que han dado lugar a la formación de las brechas portadoras de la mineralización son N-S, N 20 E, N 120 E, y N 80 E.

#### 2.1.6. *La mina de Fé*

Este importante yacimiento, perteneciente al conjunto de indicios uraníferos existentes en las proximidades del río Águeda, a la altura de Saelices el Chico

(Fig. 9) está situado unos 8 km al O. de Ciudad Rodrigo. Además de ser el más importante de la Península Ibérica, es el único yacimiento de la región que está actualmente en explotación. Por ello, dado su gran interés, tanto desde el punto de vista geológico como económico, se ha hecho de él un estudio más detallado, atendiendo tanto a sus caracteres estratigráficos como a los tectónicos y metalogénicos.

Su descubrimiento, al igual que el de casi todas las demás manifestaciones de la región, se hizo a finales de los años 50 por la Junta de Energía Nuclear. En 1974 se puso en explotación por ENUSA, arrojando actualmente una producción media anual de 200 Tm de  $U_3O_8$ . La explotación se lleva a cabo selectivamente por corta a cielo abierto en bancos, de 3 m., con posterior machaqueo y lixiviación ácida.

Para su estudio, además de los datos proporcionados por los miles de metros de sondeo realizados, se ha contado con las facilidades para la observación que suponen las cortas de Fé-1 y Fé-3 (Fig. 10) donde se han podido tomar datos de gran interés, tanto desde el punto de vista tectónico como del que se refiere al origen de mineralización.

Un importante dato a destacar es que el yacimiento de Fé, al contrario de lo que sucede con la mayoría de los otros yacimientos de las pizarras de Salamanca, se halla bastante alejado de las rocas ígneas, a 3 km del granito de Gallegos de Argañán y a 5 del del Bañobárez, no observándose, ni en la corta ni en los sondeos realizados en ella, señal alguna de metamorfismo de contacto.

### Caracteres litológicos

Las mineralizaciones de Fé, al igual que todas las descritas anteriormente, se encuentran encajadas únicamente en metasedimentos del C.E.G., y concretamente en las litologías correspondientes a los tramos 1, 2, 3 y 4 que se han definido por ARRIBAS y otros (1983). Dentro de éstos, abarcan todos los tramos 2 y 3, el techo del 1 y el muro del 4. Es, por lo tanto, este yacimiento, el que ocupa más metros de la serie del C.E.G., ya que ningún otro indicio está mineralizado a lo largo de todos estos tramos.

Teniendo en cuenta la forma de las cortas Fé-1 y Fé-3 (Fig. 10) y que los sedimentos se encuentran fuertemente replegados, dando lugar con ello a frecuentes repeticiones de términos, puede decirse que el límite oeste de Fé-3 está constituido por las filitas ampelíticas, cuarzo-filitas y cuarcitas pertenecientes al techo del tramo 1 y muro del tramo 2. Entre estas litologías se intercalan los niveles anfibólicos de 5 a 30 cm de potencia, boudinados, situados a muro del tramo 2.

La parte central de la corta de Fé-3, la forman los materiales correspondientes al resto del tramo 2, en el que alternan filitas sericíticas y cuarcíticas, cuarcitas, ampelitas y rocas carbonatadas. En estrecha relación con estos niveles hay

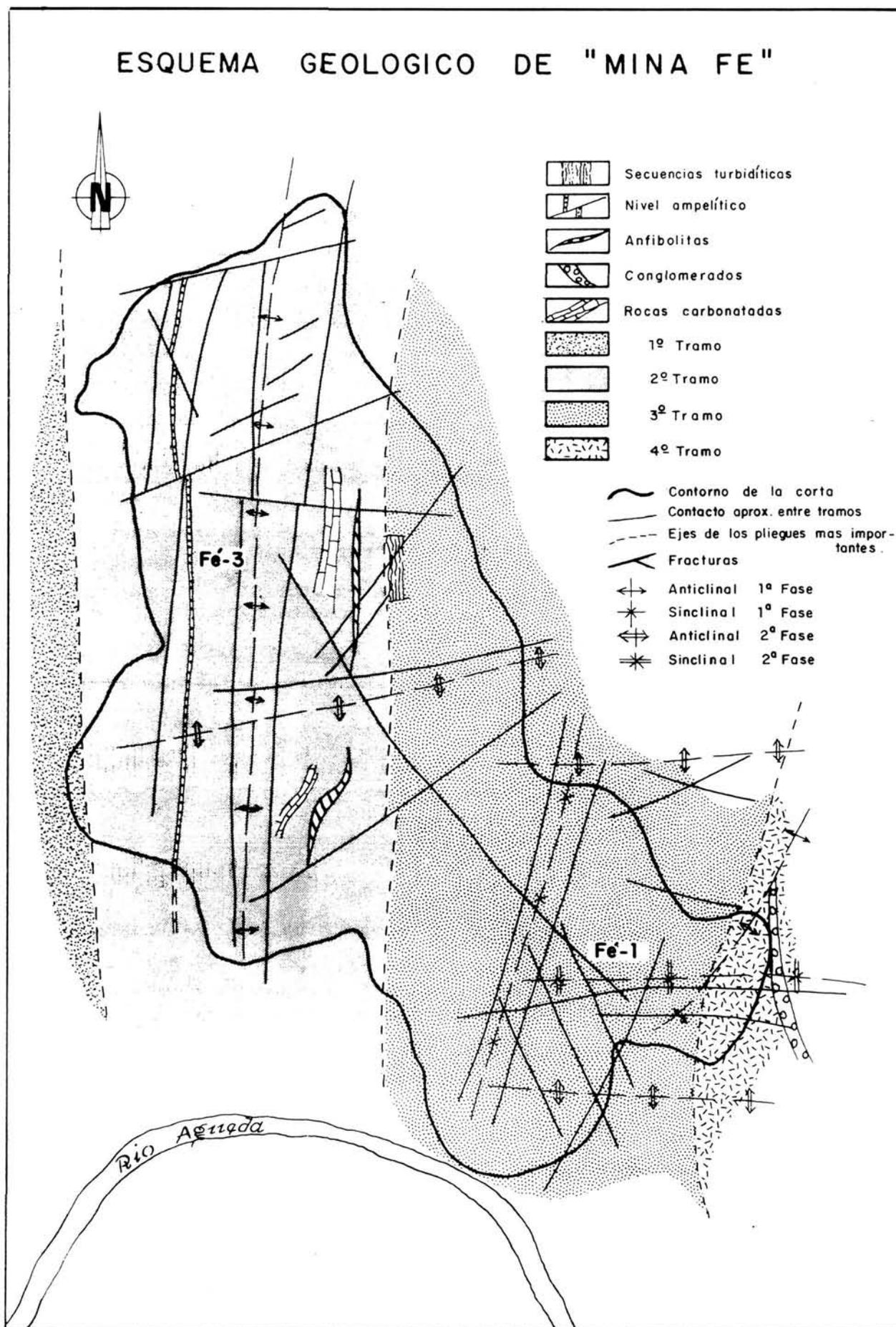


Figura 10.

abundantes paquetes de anfibolitas, de potencia métrica, directamente asociados con las rocas carbonatadas.

El extremo E de Fé-3, el área comprendida entre Fé-3 y Fé-1, y el extremo O. de Fé-1 están constituidos por rocas pertenecientes al tramo 3 de la serie estratigráfica general, entre ellas, filitas ampelíticas y sericíticas y, en menor proporción, cuarcitas y cuarzofilitas.

El extremo E. de Fé-1 está formado por las litologías correspondientes al muro del tramo 4, el cual está compuesto fundamentalmente por cuarcitas, cuarzo-filitas y microconglomerados subarcósicos.

Así, pues, el único tramo del C.E.G. que no se encuentra representado en la mina Fé es el 5º, estando el 2º y 3º en su totalidad. Cabe recordar que el muro y techo del 2º tramo, y una gran parte del 3º, están formados en su mayor parte por litologías de carácter ampelítico y con un alto contenido en materia orgánica.

#### Caracteres tectónicos

En la corta de mina Fé se pueden distinguir claramente dos tipos de elementos tectónicos: pliegues y fracturas. Por lo que se refiere a los primeros, ellos se produjeron principalmente durante las dos primeras fases del plegamiento hercínico, dando lugar a un modelo de superposición bastante complejo.

En la zona de la mina, la primera fase originó macropliegues de tamaño hectométrico, de dirección aproximada N-S y vergentes al E, situados en el flanco inverso de una gran macroestructura de dimensiones kilométricas que comprende el anticlinal del Águeda y el sinclinal de Saelices. Los pliegues hectométricos llevan asociada una gran cantidad de pliegues menores, de tamaño métrico a decamétrico, lo que da lugar a frecuentes repeticiones de las litologías.

Durante la primera fase de plegamiento, y en particular en los flancos inversos de los pliegues, se desarrolló una fracturación más o menos marcada que sigue el esquema anteriormente mencionado (Fig. 4).

Como pliegues más característicos de esta primera fase se observan los siguientes: un anticlinal, de dirección nortada, en el centro de la corta Fé-3; un sinclinal, también de dirección nortada, entre Fé-1 y Fé-3, y un anticlinal menos pronunciado que los anteriores como consecuencia de la fuerte deformación que en él provocó la segunda fase, en Fé-1.

Estas tres grandes estructuras, que llevan asociadas una gran cantidad de pliegues menores, dan lugar a frecuentes repeticiones litológicas en las diferentes cortas, por lo que en ocasiones es muy difícil establecer la serie y su polaridad. Este fenómeno se desarrolla especialmente en la corta Fé-3.

La segunda fase originó también pliegues isoclinales, de dirección aproximada E-O y vergentes al S. Al igual que en el caso anterior, estos pliegues llevan asociada una fracturación que es especialmente intensa en los flancos inversos. Las estructuras más importantes relacionadas con la segunda fase son: una anti-forma, en Fé-3, y una sinforma y antiforma, en Fé-1.

La interferencia de estas dos fases ha dado lugar a una complicada estructura tectónica, originada por la gran anisotropía en los materiales del C.E.G., además de una intensa fracturación.

Cartográficamente, la mina Fé, está situada en el flanco oriental de una gran antiforma de la 3ª fase, la que ha dado lugar a una distorsión de las estructuras formadas en las fases anteriores, a una esquistosidad de crenulación, visible especialmente en los tramos más pelíticos, y a un sistema de fractura de dirección aproximada NNE-SSO.

Por lo que se refiere a las fracturas, además de las relacionadas con las fases de plegamiento anteriormente mencionadas, otras nuevas se desarrollaron durante las etapas tardihercínicas, que en la mina Fé están representadas por fracturas de dirección NE-SO.

Finalmente, los esfuerzos tectónicos alpinos, al actuar sobre materiales muy anisótropos, reactivaron las fracturas preexistentes, dando lugar a la formación de brechas con características peculiares y de gran importancia desde el punto de vista metalogénico.

Por las razones expuestas, los principales sistemas de fractura que se encuentran en Fé están directamente relacionados con las diversas etapas tectónicas hercínicas, siendo sus direcciones principales las N-S, N 20 E, N 45 E, E-O y N 120 E.

En Fé-3, las principales fracturas tienen dirección N-S y E-O, existiendo también una importante de dirección N 120 E. En Fé-1, los sistemas más desarrollados son E-O y N 120 E, además de algunas fracturas de dirección N 20 E. Tal y como se observa en la Fig. 10, hay una relación directa entre las direcciones de los ejes de los pliegues y las diferentes fracturas, particularmente las de dirección N-S, correspondientes a la primera fase y las E-O, relacionadas con los pliegues de segunda fase.

Tal y como se verá más adelante, el estudio de los sistemas de plegamiento y fractura reviste, en el caso de mina Fé, una particular importancia, ya que todas las mineralizaciones uraníferas primarias se encuentran ubicadas en brechas y fracturas condicionadas por los diferentes sistemas de rotura.

Así, desde el punto de vista de la mineralización, tienen un interés especial: una gran fractura de dirección E-O, en Fé-1; otra de igual dirección, la denominada «pistola» por los mineros, en Fé-3; y otra, de dirección N-S, también en Fé-3, que es la denominada «grafitosa». Siendo de destacar que el lugar de inter-

sección de estas dos últimas fracturas es una zona extraordinariamente enriquecida en U y en la que se ha podido obtener un gran número de datos a propósito de la mineralización.

## 2.2. Área Norte

En este área, los materiales del C.E.G. se extienden a lo largo de una franja que abarca desde la frontera portuguesa hasta el río Huebra, a la altura de Pozos de Hinojo, pasando por San Felices, Bañobárez y Villavieja de Yeltes, entre otras localidades. Desde el punto de vista de las mineralizaciones uraníferas, la zona comprendida entre Villavieja, Retortillo y Pozos de Hinojo es la más importante y la que cuenta con el mayor número de anomalías. Dentro de esta zona, además de los numerosos indicios radiactivos, se sitúan dos importantes mineralizaciones, hoy inactivas, que son los yacimientos de Caridad y Pedro Alvaro.

### 2.2.1. Zona de mina Caridad

La presencia de anomalías radiactivas en esta zona se conoce desde finales de los años 50. En la década de los 60, la JEN realizó labores de explotación, tanto a cielo abierto como por un pozo y galerías. Posteriormente, ENUSA ha realizado algunos trabajos de investigación que han permitido conocer con más detalle las características de la mineralización.

Aunque la mineralización más importante de esta zona es la mina Caridad (Fig. 11), las anomalías e indicios se extienden hacia el N., hasta las proximidades del denominado pluton de Villavieja, siendo de destacar que, ni en los alrededores ni en la propia mina, hay signos de metamorfismo de contacto, aunque el granito está situado únicamente a un par de km.

### Caracteres litológicos

Las mineralizaciones se encuentran únicamente en las rocas del C.E.G. no existiendo indicios en los granitos próximos. Las rocas encajantes del yacimiento pertenecen a los tramos 4 y 5, y dentro de éstos, a los niveles más pelíticos. Estos últimos están muy desarrollados en la zona, siendo muy acentuado su carácter ampelítico. Por otro lado, las litologías observadas en mina Caridad son, en su mayor parte, de carácter ampelítico y grano muy fino, y coinciden con las observadas en el resto de la zona, no existiendo en ellas ningún signo de metamorfismo de contacto.

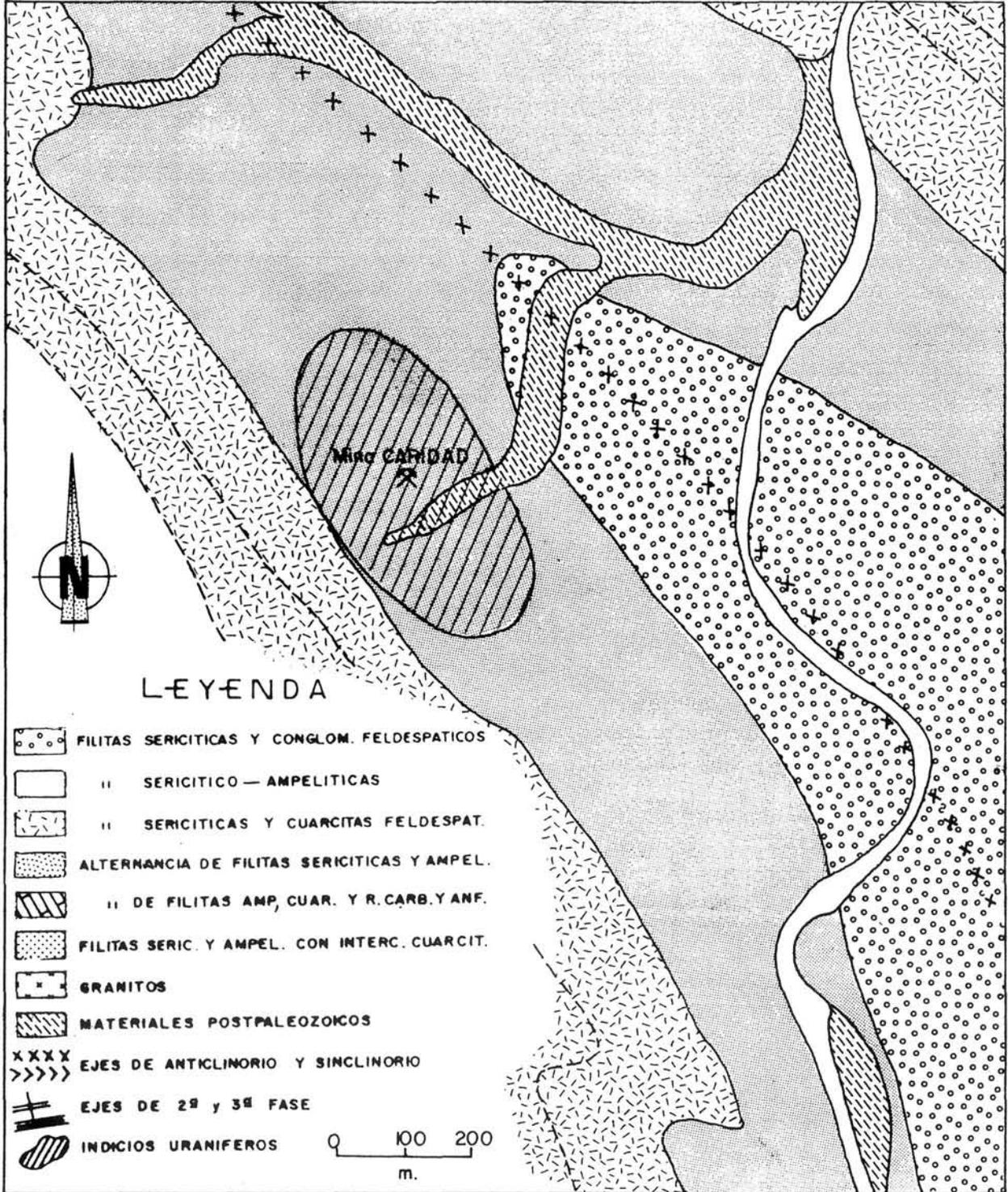


Figura 11. Esquema geológico y situación de las anomalías uraníferas en la zona de Mina Caridad.

### Caracteres tectónicos

En esta zona, la primera fase es la más generalizada, y al igual que ocurre en el resto de la región, da lugar a grandes anticlinorios y sinclinorios de dirección NO-SE, vergentes al NE, que llevan asociada una esquistosidad de plano axial muy penetrativa. Con estas macroestructuras va asociada una gran cantidad de pliegues menores, de tamaño muy diferente, cuyos flancos inversos son muy favorables para el desarrollo de fracturas.

La segunda fase, de distribución muy irregular en la zona, únicamente está bien desarrollada a partir del flanco oeste del gran sinclinorio que se extiende, en dirección SE, desde Villavieja de Yeltes hasta las proximidades de Retortillo. Al E. de esta línea y hasta el sinclinorio de Villares de Yeltes, los efectos de la segunda fase son muy poco notorios. Sin embargo, cuanto mayor es la proximidad de las rocas graníticas, mayores son los efectos de esta fase tectónica.

Las consecuencias de esta superposición de fases resultan poco visibles a escala cartográfica, dado lo restringido del área, pero se reconocen perfectamente de visu y al microscopio. En este sentido, es de destacar que, tanto la mina Caridad como los indicios próximos a ella, se sitúan en el flanco inverso del sinclinorio y en zonas próximas a la charnela, en un área donde la segunda fase es claramente visible, por lo que se puede aplicar aquí el mismo esquema tectónico supuesto para las mineralizaciones situadas en el área sur.

La tercera fase, las fases tardihercínicas y los contragolpes alpinos se comportaron aquí de forma muy semejante a como lo hicieron en las otras zonas mineralizadas.

Las direcciones preferentes de fracturación de las brechas en las que están encajadas las mineralizaciones son, en esta zona, N 120 E, N 20 E y N 80 E.

#### 2.2.2. Zona de Pedro Álvaro

Se trata de una zona más restringida y menos importante que la anterior, pero, dado que fue explotada a cielo abierto y que en ella se observan muy bien las características de la mineralización, se ha estudiado con cierto detalle. Las labores mineras fueron llevadas a cabo durante la década de los 60, y una vez abandonadas han sido continuadas por ENUSA. Las mineralizaciones están situadas en las proximidades del granito (Fig. 12), en ocasiones a menos de un centenar de metros, por lo que los efectos del metamorfismo de contacto son muy evidentes.

### Caracteres litológicos

Las mineralizaciones están situadas únicamente en los materiales del C.E.G., no pasando ninguna de ellas a los granitos próximos. El yacimiento se encuentra

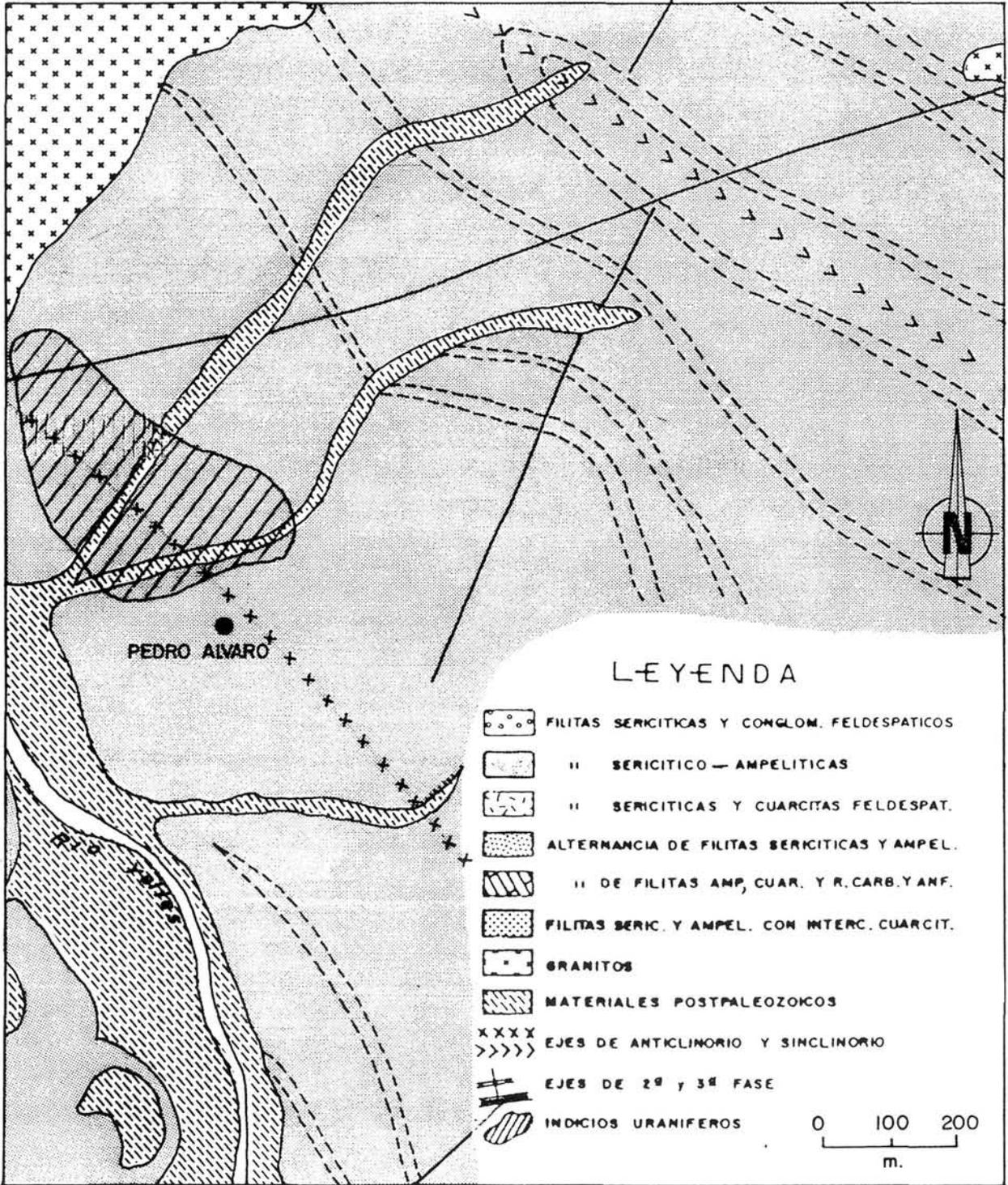


Figura 12. Esquema geológico y situación de las anomalías uraníferas en la zona de Pedro Álvaro.

encajado en el tramo 4 de la serie estratigráfica regional, y dentro de éste, en los tramos pelíticos, no encontrándose ningún tramo conglomerático en la zona mineralizada. Como ya se ha dicho, las rocas están muy recristalizadas como consecuencia del metamorfismo térmico, el cual ha dado lugar principalmente a mica-citas y cuarcitas micáceas.

#### Caracteres tectónicos

Al igual que en mina Caridad, la primera fase dio lugar en esta zona a grandes anticlinorios y sinclinorios, asociados con numerosos pliegues menores, de dirección NO-SE y vergencia NE. A esta fase se superimpuso la segunda, claramente visible en los afloramientos y al microscopio.

Es importante destacar que la zona mineralizada está asociada con una gran fractura kilométrica, de dirección E-O a NE-SO, posiblemente relacionada con la segunda fase, y que las mineralizaciones están situadas en la charnela de un gran sinclinorio de primera fase, por lo que el ambiente tectónico que caracteriza a este yacimiento es muy semejante al de la mina Caridad.

### 3. INVESTIGACIONES MINERAS

Además de las calicatas y trabajos de exploración realizados por la JEN, en o cerca de la superficie, las investigaciones actuales se han efectuado fundamentalmente mediante sondeos de testigo, lo que ha permitido reconocer las características de la mineralización en profundidad.

Dado que la cantidad de sondeos es considerable y con el fin de sintetizar los datos obtenidos en todos ellos, se han tomado de las principales áreas investigadas los más representativos de cada una de ellas. De esta forma, en las Figs. 13, 14, 15 y 16, se representan las columnas estratigráficas de los sondeos 20 N 45, -80 N 255, -550 N 110 y 70 N 20, a las que se han añadido algunas características tectónicas, log radiométricos y análisis químico. Los sondeos pertenecen a Alameda Sur, Río Águeda, Rivera de Azaba, y mina Fé respectivamente.

El gran número de sondeos realizados, tal y como se puede observar en los mapas de situación (Figs. 17, 18, 19 y 20), ha permitido conocer con gran precisión las áreas mineralizadas, especialmente en Alameda Sur y mina Fé, ya que ellas han hecho posible comprobar los datos geológicos obtenidos en la superficie. Por otra parte, los sondeos han permitido también conocer las mineralizaciones fuera de los límites de alteración supergénica, observándose así el carácter primario de muchas de ellas.

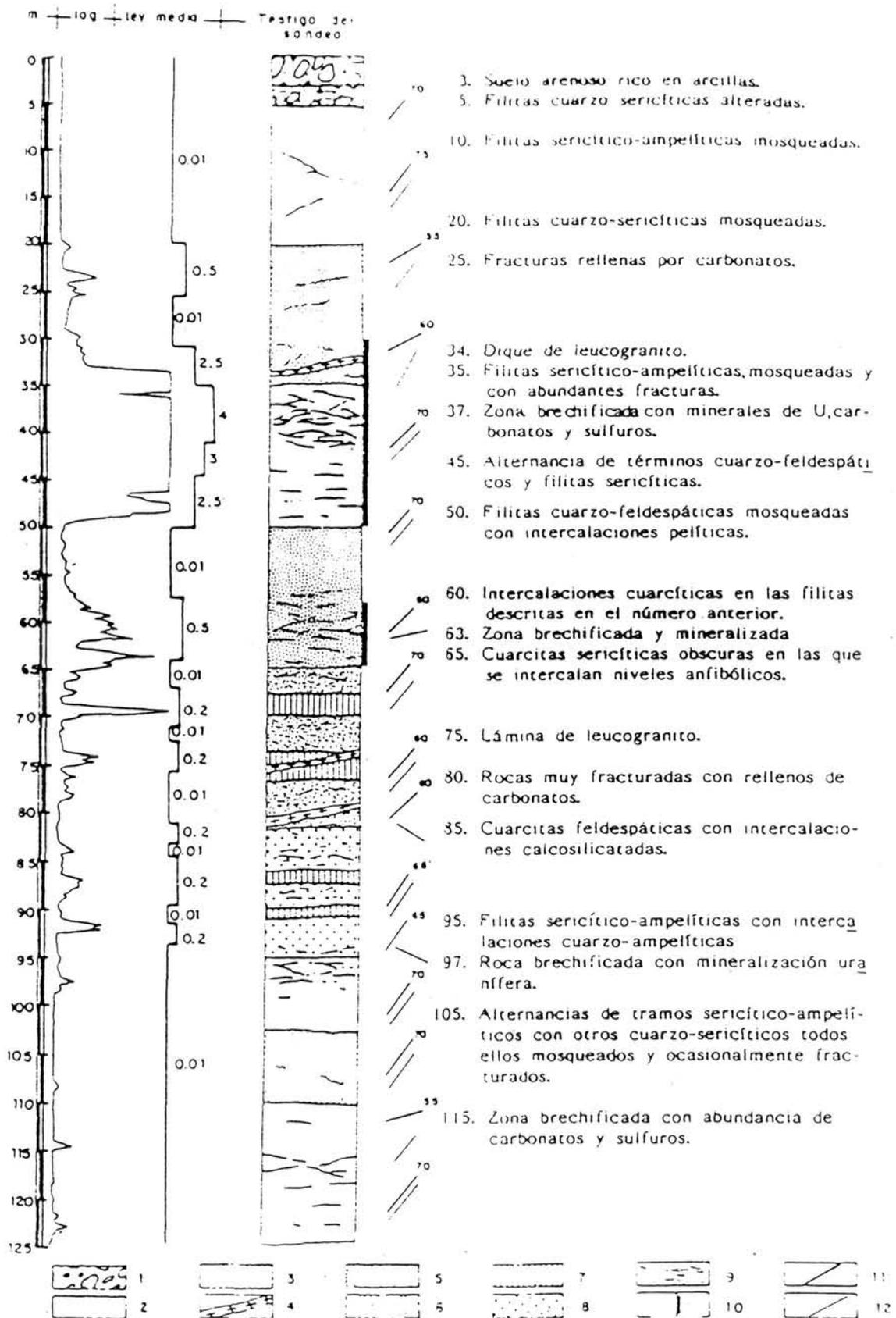


Figura 13. Sondeo «20 N 45» de Alameda Sur.

1. Suelos arenosos con arcillas y roca alterada.
2. Filitas sericitico-ampelíticas mosqueadas.
3. Filitas sericiticas mosqueadas.
4. Leucogranitos.
5. Cuarzo-filitas y cuarcitas.
6. Filitas cuarzo-ampelíticas.
7. Rocas calcosilicatadas.
8. Cuarcitas feldespáticas y cuarzofilitas.
9. Fracturación.
10. Tramo mineralizado.
11. Buzamiento  $S_0$ .
12. Buzamiento  $S_1$ .

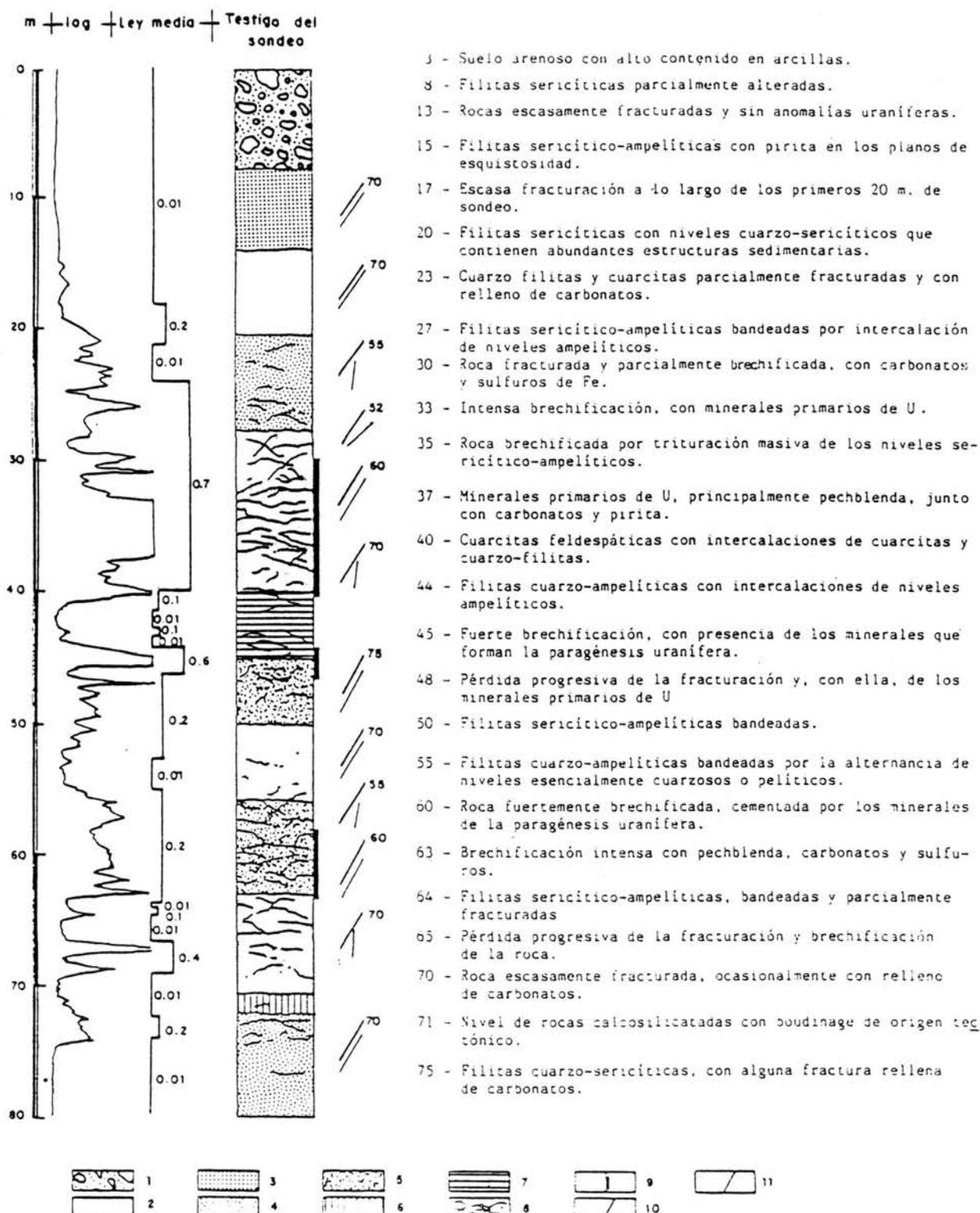


Figura 14. Sondeo «-80-N-255». Área «M» (Zona del río Águeda).

1. Suelos arenosos con arcillas y rocas alteradas. 2. Filitas sericitico-ampelíticas. 3. Filitas sericiticas. 4. Cuarzo-filitas y cuarcitas. 5. Filitas cuarzo-ampelíticas. 6. Rocas calcosilicatadas. 7. Cuarcitas feldespáticas y cuarzo-filitas. 8. Fracturación. 9. Tramo mineralizado. 10. Buzamiento ( $S_0$ ). 11. Buzamiento ( $S_1$ ).

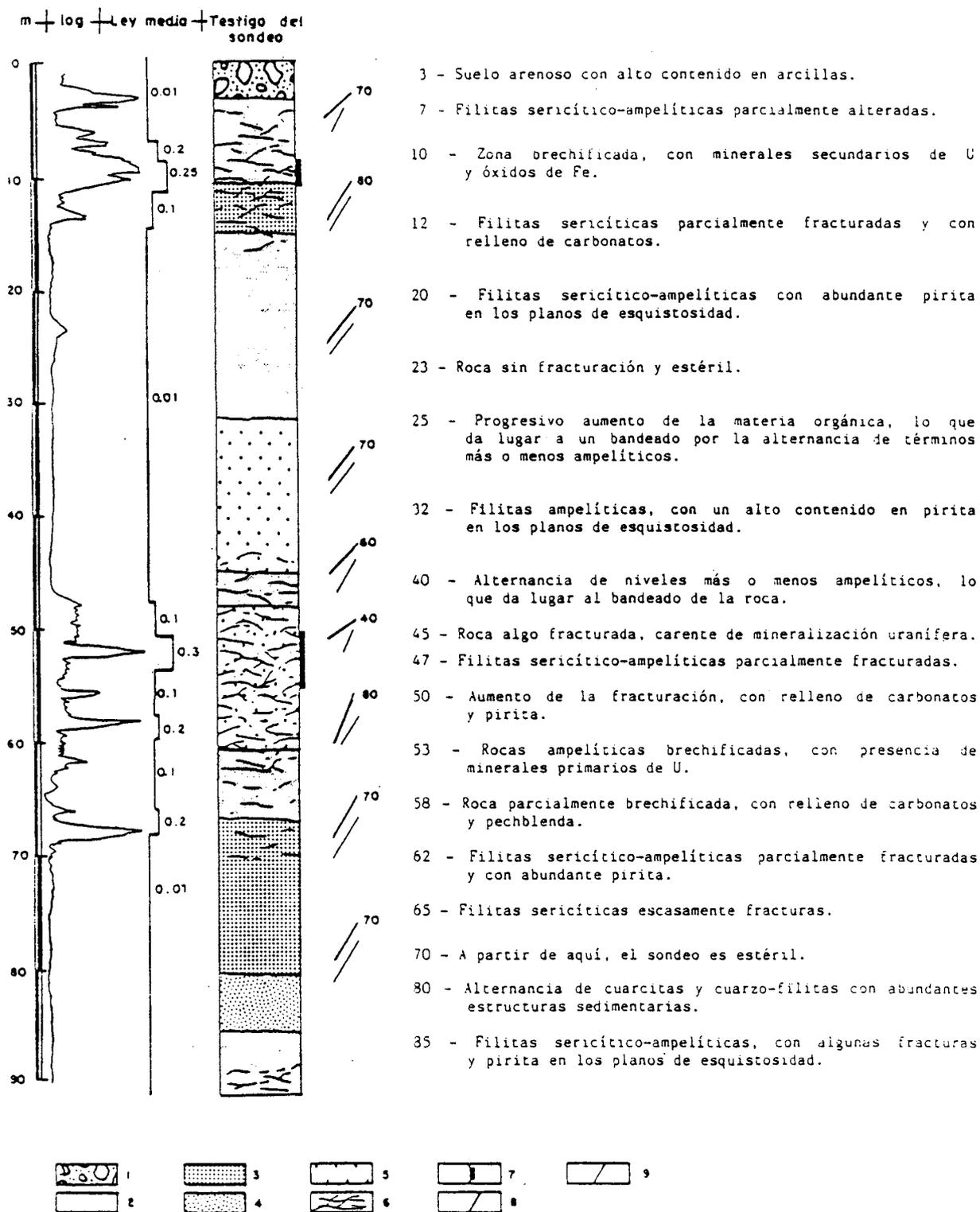


Figura 15. Sondeo «550-N-110». Marialba (Zona de la Rivera de Azaba).

1. Suelos arenosos con arcillas y roca alterada. 2. Filita sericítico-ampelíticas. 3. Filitas sericíticas. 4. Cuarzo-filitas y cuarcitas. 5. Filitas ampelíticas. 6. Fracturación. 7. Tramo mineralizado. 8. Buzamiento ( $S_0$ ). 9. Buzamiento ( $S_1$ ).

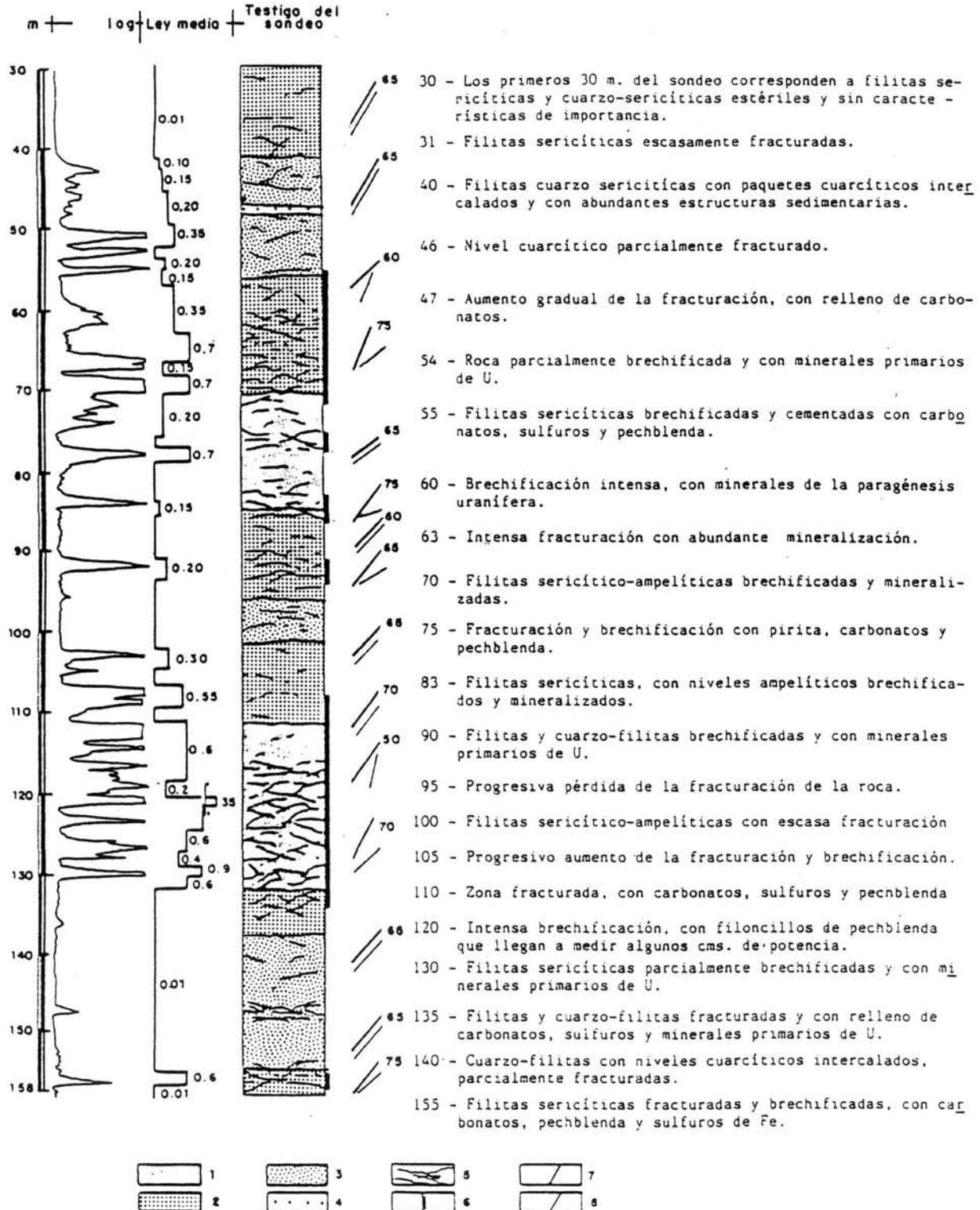


Figura 16. Sondeo «70 N 20». Fé-3.

1. Filitas sericitico-ampelíticas. 2. Filitas sericiticas. 3. Filitas cuarzo-sericiticas. 4. Cuarzitas. 5. Fracturación. 6. Tramo mineralizado. 7. Buzamiento (S<sub>0</sub>). 8. Buzamiento (S<sub>1</sub>).

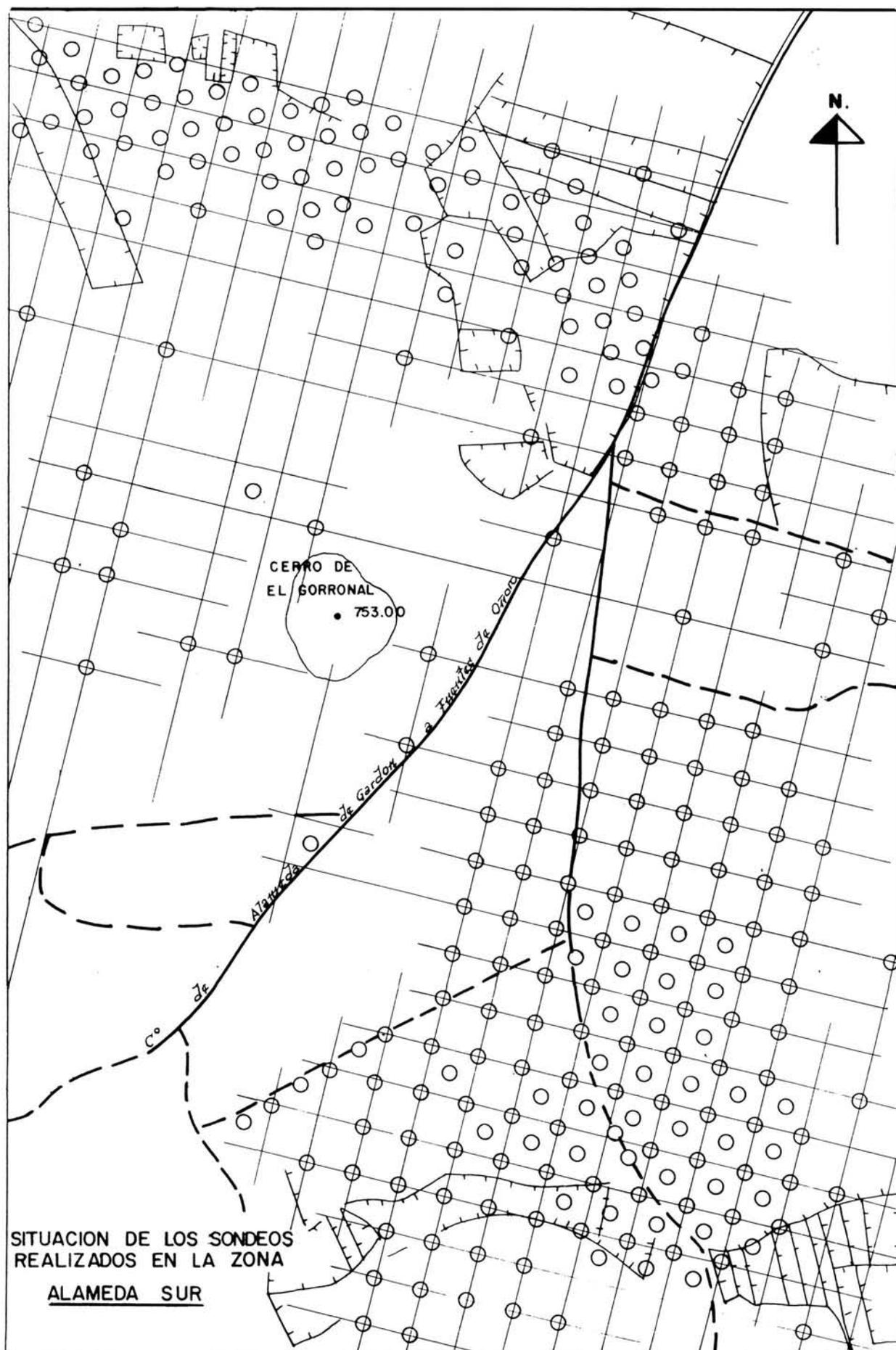


Figura 17. Situación de los sondeos realizados en la zona *Alameda Sur*.

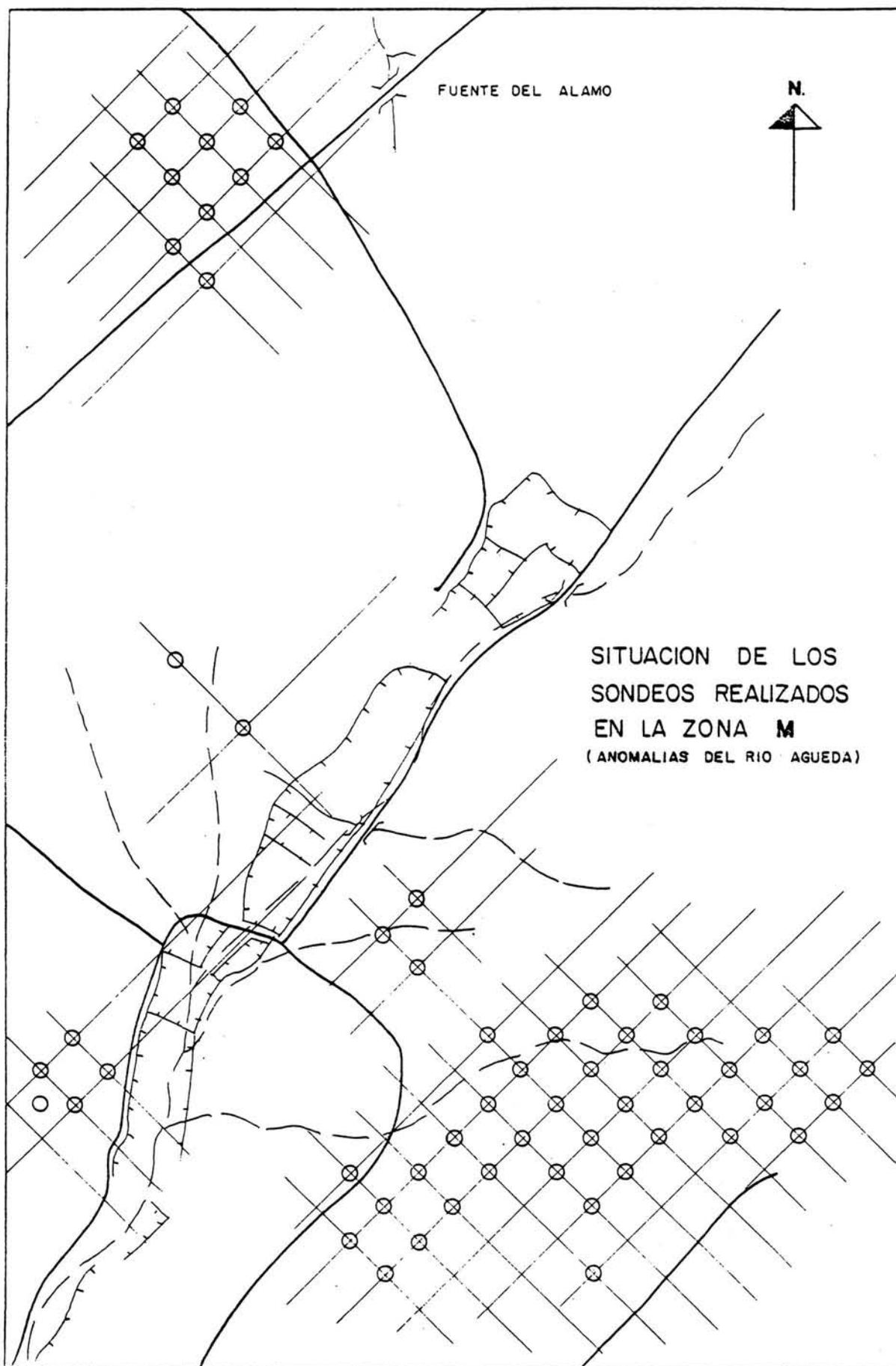


Figura 18. Situación de los sondeos realizados en la zona M (anomalías del río Águeda).

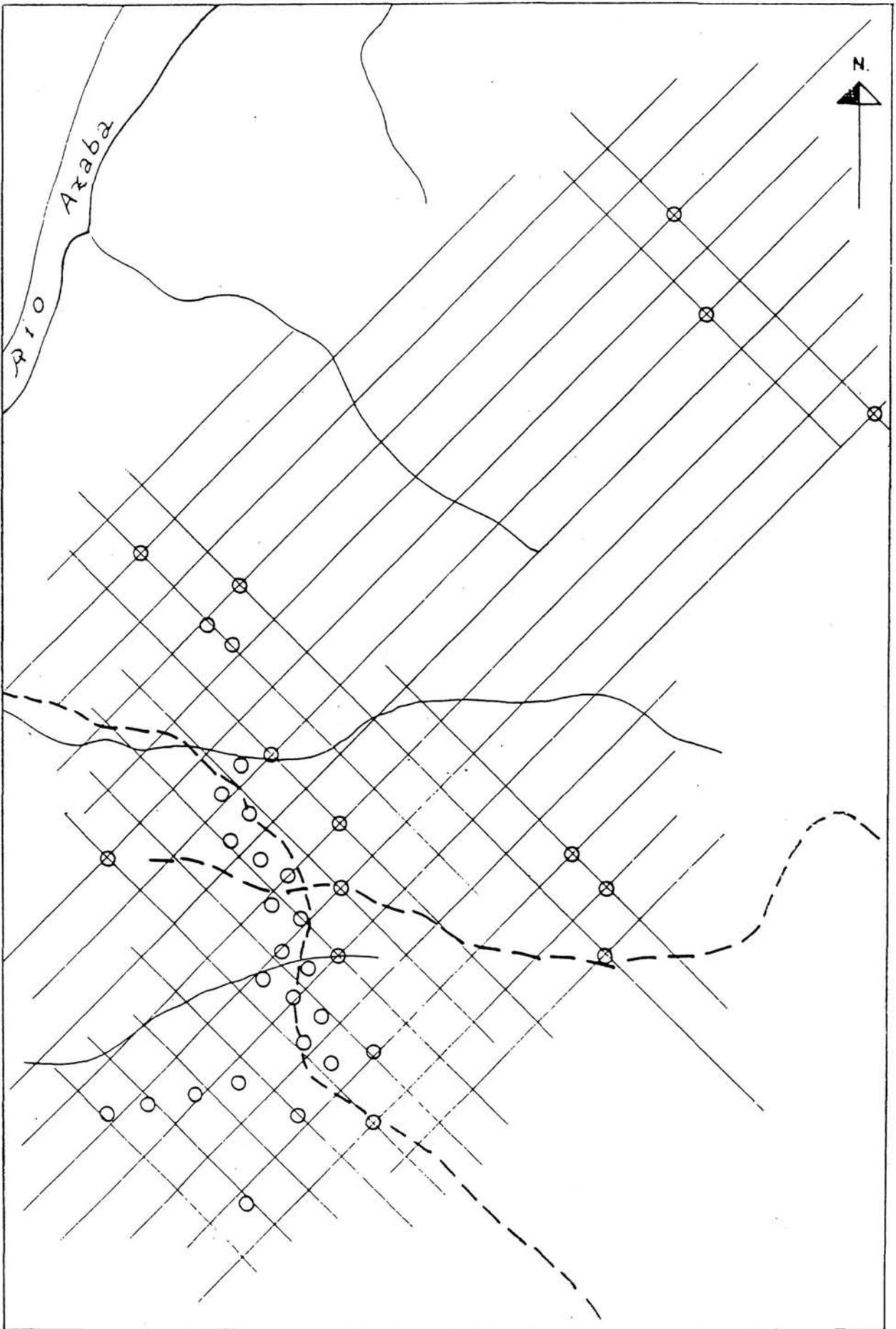


Figura 19. Situación de los sondeos realizados en la zona *Marialba*.

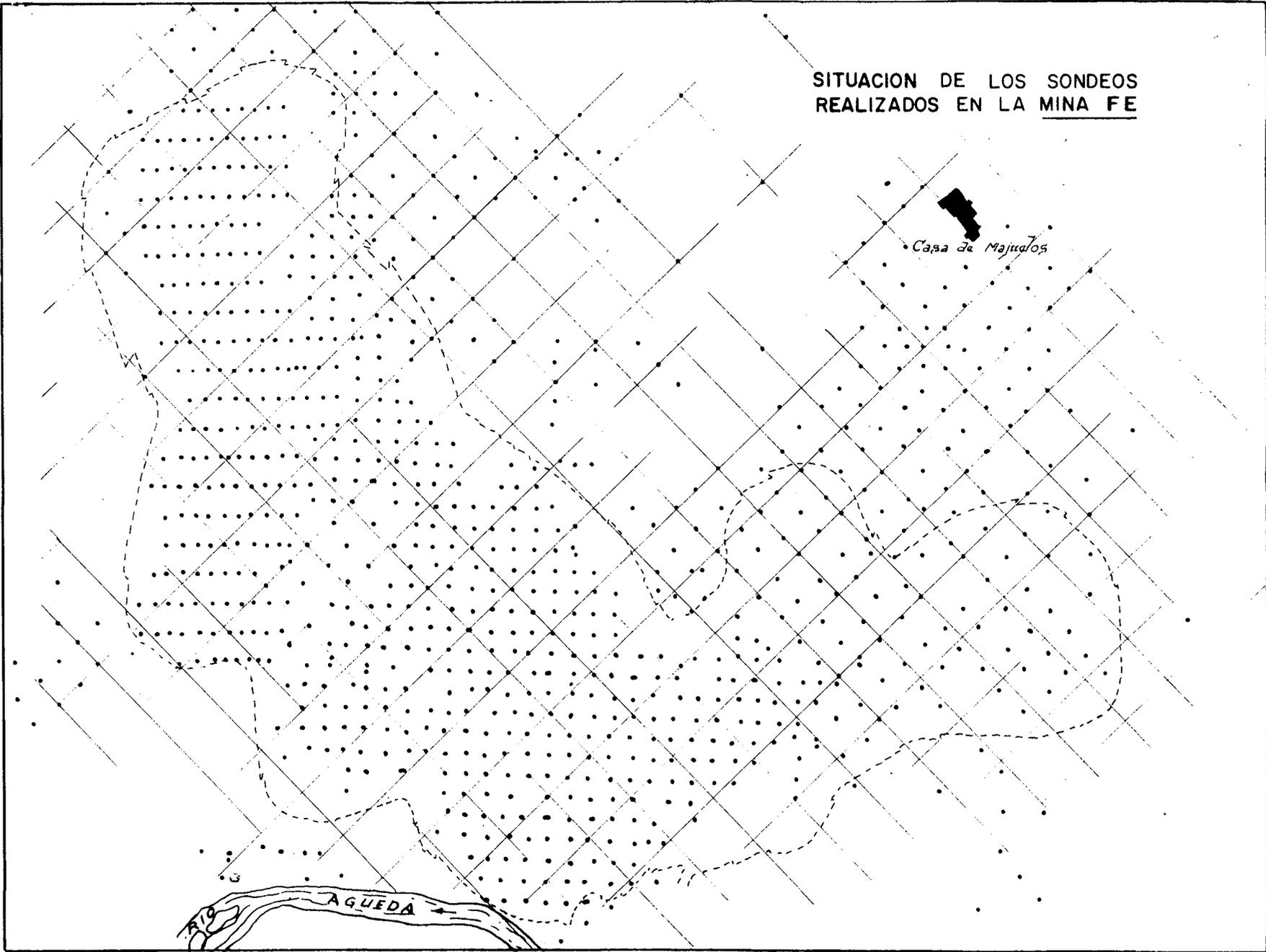


Figura 20. Situación de los sondeos realizados en la mina Fé.

A las columnas de los sondeos aquí representados cabría añadir las que ARRIBAS y otros (1983) describimos del sondeo 20 N 50 de la zona de Alameda Sur, pudiéndose comprobar la gran semejanza que éste muestra con el 20 N 45, tanto por lo que se refiere a la litología y tectónica como a la naturaleza de la mineralización.

En este mismo sentido, cabe destacar que la gran mayoría de las muestras estudiadas, procedentes de zonas mineralizadas fuera del área de Mina Fé, han sido obtenidas a partir de los testigos de sondeo.

Por lo que se refiere a las características tectónicas y litológicas, los datos proporcionados por los sondeos coinciden totalmente con los que se obtuvieron a partir de observaciones superficiales.

En este sentido, cabe destacar que las fracturas y zonas brechificadas son perfectamente reconocibles en los testigos de los sondeos, mientras que en superficie, debido a los procesos de oxidación, aquellas estructuras se observan con mayor dificultad.

Igualmente, es de destacar la variación progresiva y simétrica de la intensidad de la deformación, correspondiendo la parte más afectada al centro de las zonas fracturadas, y pasándose gradualmente, a través de las salbandas, que están mucho menos deformadas, a las rocas de caja. Así, la Fig. 21, muestra tres fragmentos del sondeo 20 N 50 —tomados a una profundidad de 100 (centro), 103 (derecha) y 107 ms. (izquierda) respectivamente— correspondientes a un tramo brechificado de los esquistos en los que se encuentran las mineralizaciones de Alameda Sur. En ellos se puede observar el progresivo aumento de la trituración, desde el fragmento más próximo a la roca sana (centro), al más alejado de ella (izquierda). A partir de este último, situado en la zona de máxima brechificación, ésta vuelve a decrecer hasta llegar de nuevo a la roca no fracturada.

Por último, cabe destacar que un importante número de brechas contienen fragmentos de cuarzo que, por sus características, corresponden a cuarzos de segregación metamórfica y tectónica formados durante la orogenia hercínica, y que rellenan zonas de tensión o fractura que fueron posteriormente brechificadas y cementadas, ocasionalmente, por el uranio y los minerales acompañantes.

## 4. LAS ESTRUCTURAS MINERALIZADAS

### 4.1. Generalidades

Todos los yacimientos e indicios uraníferos están ubicados en ambientes geológicos parecidos, por lo que tienen muchas características comunes. Las más importantes, se resumen a continuación.

Todos los yacimientos se encuentran en los metasedimentos del CEG, no habiéndose encontrado ni indicios ni anomalías importantes en las rocas graníticas próximas. Además, en Alameda Sur, los numerosos diques graníticos, de hasta un metro de potencia, que atraviesan las formaciones del complejo, no están mineralizados, salvo en dos ocasiones, en que están atravesados por delgadas venillas con pechblenda que son una prolongación de las que atraviesan las pizarras.

Salvo en zonas subsuperficiales donde las mineralizaciones están oxidadas y los minerales secundarios dispersos en los planos de estratificación y de esquistosidad, los minerales primarios se encuentran únicamente en brechas de falla (Fig. 22).

Con la excepción de las anomalías de la Rivera de Azaba, en las que existe un fuerte control litológico, todas las mineralizaciones se encuentran en los flancos inversos o en zonas próximas a las charnelas de los grandes pliegues y, dentro de cada uno de ellos, el mismo fenómeno se produce en los pliegues menores.

Esto es debido a que, tal y como se indicó en la Fig. 5, al ser los pliegues vergentes, éstos presentan las condiciones idóneas para haber dado lugar a brechas susceptibles de estar mineralizadas.

Con la excepción de las anomalías de la Rivera de Azaba y, quizás, en parte, los de Gallegos de Argañán, todos los indicios uraníferos se encuentran en zonas donde la segunda fase ha tenido mayor desarrollo. En este sentido, se debe destacar que, con la excepción de la zona del río Águeda, la segunda fase tectónica alcanzó su mayor intensidad en la vecindad de los granitos, por lo que son precisamente las áreas situadas en contacto con las rocas ígneas las que suelen estar más mineralizadas.

Dentro de la columna estratigráfica regional, la mayor parte de las mineralizaciones se encuentran en los tramos 1º, 3º y 5º, esto es, en los que tienen naturaleza pelítica y, especialmente, ampelítica. Por otro lado, cuando las mineralizaciones se encuentran en los tramos 2º y 4º, lo hacen casi exclusivamente en las litologías pelíticas y ampelíticas, no existiendo apenas mineralizaciones en los tramos de carácter cuarzo-feldespático y carbonatado-detrítico. Esto parece indicar la existencia de un cierto control litológico de la mineralización, la cual se encuentra preferentemente en las brechas y fracturas que atraviesan las rocas pelíticas que contienen una mayor proporción de materia orgánica.

La dirección de las fracturas con las cuales coinciden las brechas se repite, con escasas variaciones, en todos los yacimientos. Las más frecuentes son las N 160 E, N 20 E y N 120 E, aparte de una que varía entre N 50 E y N 80 E. Estas direcciones coinciden, respectivamente, con las estructuras tectónicas de la primera, segunda y tercera fase, correspondiendo la última dirección a la lineación de intersección entre las dos primeras.

En consecuencia, como la dirección de los planos axiales de la primera fase sufrió una gran dispersión debido a la superposición de las fases siguientes, se puede decir que la mayor parte de la fracturación que dio lugar a las brechas encajantes de la mineralización está directamente controlada por las estructuras hercínicas.

En general, estas brechas de falla tienen potencia variable, comprendida entre unos decímetros y varios metros, y han sido reactivadas repetidamente a lo largo de su historia geológica. Están formadas por fragmentos angulosos, los cuales aparecen rodeados por los minerales de la paragénesis uranífera.

Estas brechas tan irregulares son características de los procesos sísmicos, y análogas a las que se originan en algunos terremotos actuales, por lo que algunas de ellas han debido desarrollarse en épocas recientes y a niveles subsuperficiales.

Esto confirma también que las brechas son independientes de la naturaleza de la roca, y que su desarrollo está condicionado principalmente por factores estructurales. Además, las brechas, que han funcionado en varias etapas, ya que frecuentemente contienen fragmentos de brechas anteriores, no están constituidas por planos bien definidos, sino por un gran número de estructuras menores, limitadas por planos irregulares de rotura no paralelos entre sí, que frecuentemente dan lugar a una geometría anastomosada.

El buzamiento de las fracturas y brechas mineralizadas es muy variable, incluso dentro de una misma zona, siendo unas veces subvertical y otras, casi horizontal, si bien se presentan numerosos casos con muchos valores intermedios. De todas formas, el valor más frecuente corresponde a buzamientos superiores a 40°-50°.

El estudio de las brechas mineralizadas de mina Fé ha permitido obtener algunas conclusiones de gran interés metalogénico. La más importante es que el proceso mineralizador se produjo en etapas sucesivas, las cuales fueron acompañadas por brechificaciones que tenían cada vez menor intensidad. Esto indica que la actividad tectónica fue cada vez más débil, por lo que los minerales de la paragénesis aparecen frecuentemente rotos y fragmentados, y redepositados en los huecos que dejaban entre sí los otros minerales (Fig. 23).

Posteriormente, con la progresiva pérdida de la intensidad y el descenso de la temperatura, el mecanismo mineralizador debió de reducirse a una circulación de aguas cargadas con fragmentos de distintos minerales, especialmente carbonatos

y pechblenda, que se fueron decantando en los tramos subhorizontales, o precipitando en forma de concreciones coloidales en las paredes de las fisuras subverticales. Esto dio lugar, respectivamente, a una mineralización de tipo «varvado» (Fig. 24), formada por niveles alternativamente más ricos en carbonatos o en pechblenda, en las fracturas y huecos subhorizontales (Fig. 25), y a procesos de crustificación en las paredes de las fracturas subverticales.

Este tipo de mineralización tiene su mejor expresión en la mina Fé, y concretamente en Fé-3, en la brecha denominada «pistola». Se trata de una brecha con varias etapas de rejuego, de dirección N 60 E, cuyo muro es muy irregular en cuanto se refiere al buzamiento. Así, este varía desde 40°-50° al S. a subhorizontal, siendo en estas zonas donde, por debajo de los fragmentos de las brechas (Fig. 26), se depositaron los sedimentos de tipo «varvado» formados por una alternancia de carbonatos y pechblenda coloidales.

También se debe destacar que, en la mina Fé, en una muestra de la brecha denominada B-12 (Fig. 25), y rellenando las oquedades que dejaban entre sí los minerales anteriores, hay un depósito tardío, de grano finísimo, en el que de abajo arriba, se disponen: un carbonato rojizo, debido a la presencia de hematites, otro negruzco, que contiene pechblenda y pirita, y un tercero, blanco, constituido por un relleno de calcita pura, que colmata completamente el hueco. Por sus características, este relleno debió producirse por decantación de los minerales en un fluido acuoso prácticamente inmóvil. Esto dio lugar a un relleno semejante a los depósitos de tipo kárstico formados en condiciones subsuperficiales, y que vendría a representar el fin del proceso mineralizador.

Por lo que se refiere a los yacimientos de Alameda de Gardón, algunos de los sondeos realizados en esta zona, particularmente los denominados 5 N 45 y 45 S 16, están atravesados por fracturas con minerales primarios que presentan texturas semejantes a las que se acaban de describir. Así, en el sondeo 5 N 45 la fractura mineralizada (Fig. 27), que es subhorizontal y perpendicular a las dos del sondeo 45 S 15, que son subverticales, muestra una deposición de tipo «varvado» de características idénticas a las de mina Fé. Sin embargo las fracturas mineralizadas, subverticales, del sondeo 45 S 15 (Fig. 28) presentan una disposición crustiforme de los minerales de la paragénesis que es en todo semejante a las de dicho yacimiento.

## 4.2. Los minerales de uranio

Los minerales de uranio de las pizarras de Salamanca, tanto los hipogénicos como los supergénicos, han sido descritos por ARRIBAS (1962, 1980 y 1984).

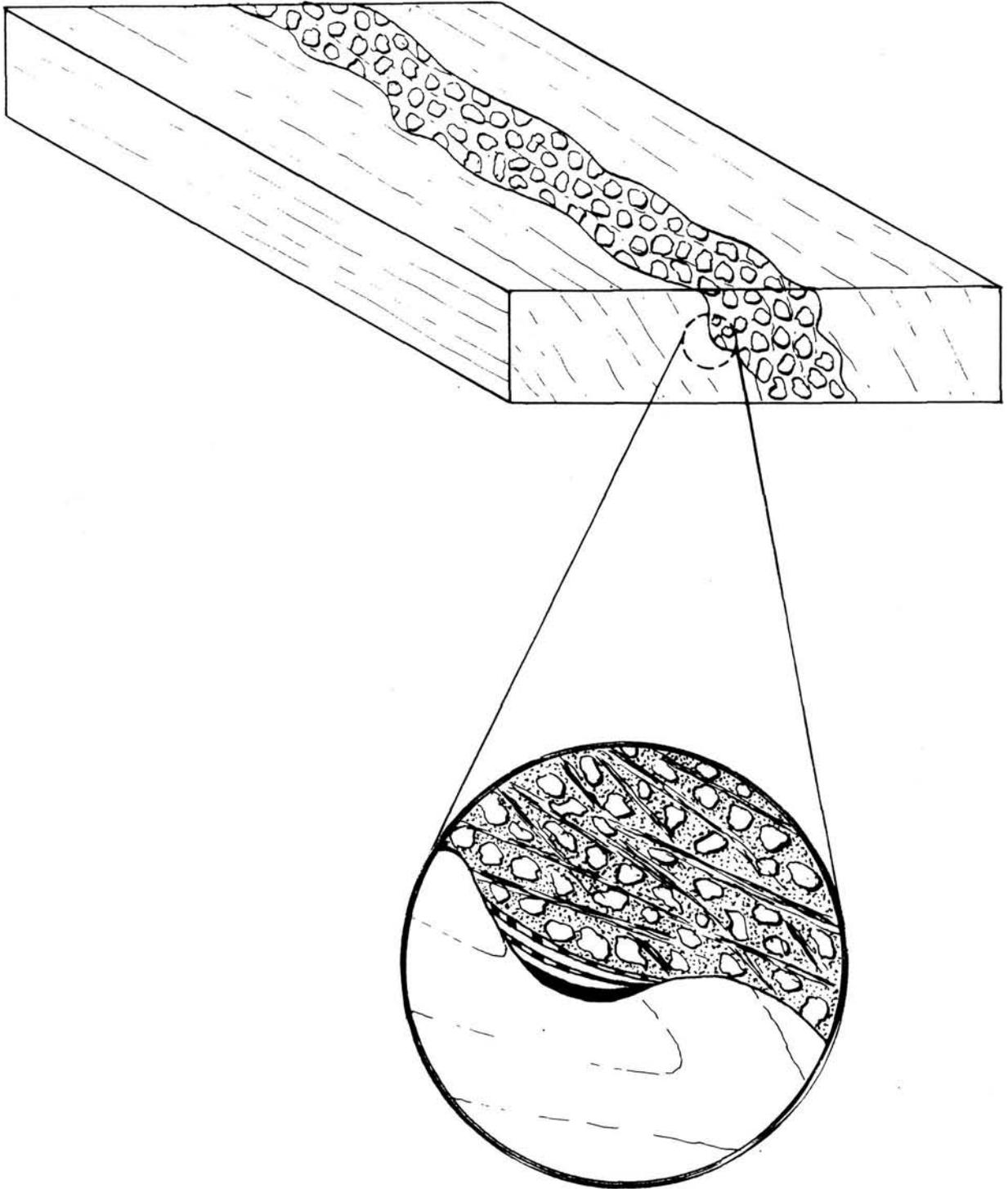


Figura 26. Esquema de deposición de la mineralización de tipo «varvado» en la base de la brecha denominada «Pistola».

Entre los *minerales hipogénicos*, se encuentran pechblenda y coffinita. La *pechblenda* aparece en venillas o en nódulos asociados con los otros minerales. Al microscopio se presenta como esferulitos o placas irregulares de reflectividad y dureza generalmente normales, excepto en la zona de oxidación, o en las próximas a ella, donde está transformada en parapechblenda y gummitas negras.

La *coffinita*, por su parte, forma también venillas y pequeñas placas y esferulitos que se disponen alrededor de los fragmentos brechificados, siendo su depósito simultáneo o alternante con el de la pechblenda (Fig. 29).

En aquellos casos en que los efectos de la meteorización han sido suficientemente intensos, se han formado abundantes productos secundarios de uranio, tanto por oxidación «in situ» de la pechblenda como por depósito de minerales hexavalentes a partir de las aguas circulantes.

Por lo que se refiere a los minerales hexavalentes, son las *gummitas* las más importantes; ellas forman concreciones de aspecto masivo y costras de color naranja y amarillo que seudomorfizan a los minerales primarios.

Entre los *minerales coloreados*, el Uranotilo alfa es el más frecuente, dando lugar a costras y agregados fibro-radiados de color amarillo claro.

La *kasolita*, que forma agregados radiados o costras microcristalinas de color amarillo apagado, se ha encontrado únicamente en mina Esperanza. La *sabugalita* da lugar a cristales tabulares de color amarillo verdoso, y se ha encontrado únicamente en Alameda de Gardón. La renardita hasta ahora únicamente presente en Esperanza y Alameda de Gardón, forma costras o agregados de cristales fibrosos y color amarillo bronceado. La *fosfuranilita*, que se distribuye entre los planos de esquistosidad de las pizarras, especialmente en Alameda de Gardón. La *autunita*, que es el más frecuente de los minerales secundarios de uranio en superficie, forma laminillas cuadradas, aisladas, o agregados de color amarillo canario. La tobernita, poco frecuente, se presenta como cristales aislados, tabulares, de color verdoso. La *saleita* muy frecuente en este tipo de yacimientos, aparece aislada o formando drusas, siendo la más abundante una variedad ligeramente ferrífera, no fluorescente, que da lugar a cristales de hasta 1 cm. de sección y color bronceado, y no amarillo paja, como es lo normal en la variedad puramente magnesiana. La *iantinita*, difícil de encontrar fresca por su facilidad para alterarse, forma costras y agregados de color malva aterciopelado que, por oxidación, pasan enseguida a epiiantinita de color amarillo, siendo de destacar que ella se encuentra únicamente en la inmediata vecindad de la pechblenda. La *uranopilita*, siempre de neoformación, se encuentra en los frentes de explotación y en las escombreras, donde da lugar a eflorescencias de color amarillo limón formadas por nódulos aislados, fibroso-radiados. Aparte de este sulfato, se han encontrado también *johannita* y *zippeita*.

### 4.3. Paragénesis y sucesión mineral

Los minerales metálicos que forman parte de la paragénesis uranífera son principalmente sulfuros de Fe, Cu y Zn, y óxidos de U. De estos últimos, los más importantes son la pechblenda y coffinita, mientras que, como sulfuros, los más abundantes son pirita y marcasita, y dentro de estos dos, más el primero que el segundo. Ocasionalmente y siempre como minerales accesorios, se encuentran otros sulfuros, concretamente blenda, calcopirita y galena.

Junto a estos sulfuros y formando la ganga de los minerales primarios de U se depositaron también adularia, carbonatos, clorita, cuarzo y hematites. La presencia de la adularia, que tiene una gran importancia desde el punto de vista genético, fue citada por primera vez por ARRIBAS (1980).

Los minerales primarios se encuentran siempre ubicados en las zonas brechificadas de los esquistos, mientras que los secundarios, especialmente el uranotilo, sabugalita, renardita y autunita, se encuentran diseminados en las fisuras y planos de esquistosidad de las rocas metamórficas.

Hay que señalar también que, además de la pirita epigenética que acompaña a las mineralizaciones, hay otra pirita singenética, de carácter sedimentario, que se desarrolla preferentemente en los planos de esquistosidad de los niveles ampelíticos.

El estudio microscópico en luz transmitida y reflejada (Fig. 30), y el microquímico, con microscopio electrónico de barrido (Fig. 31), han permitido definir la naturaleza y texturas de los minerales que forman la paragénesis, así como la sucesión mineral, la cual se realizó en el orden que se indica a continuación.

En primer lugar se produjo una intensa, pero muy reducida cloritización, e incluso silicificación, de las rocas encajantes. Después rodeando los fragmentos de las rocas de caja y del cuarzo de los filones paleozoicos que forman las brechas (Fig. 32-33), se depositaron sucesivamente *adularia*, *pirita*, *calcopirita*, *marcasita*, *esfalerita*, *galena*, *pechblenda*, *coffinita* y *carbonatos*. En la Fig. 34 se han representado la sucesión y los minerales que constituyen la mena y la ganga de los principales yacimientos, así como la relación que existe entre ellos y los procesos tectónicos.

De todos estos minerales, hay algunos que muestran particularidades dignas de ser destacadas, mientras que otros, como sucede en la pirita, presentan características normales.

La *adularia*, sólo se ha encontrado hasta ahora en la mina Fé, en los sondeos realizados en Majuelos, junto a la denominada zona M, y en Alameda Sur. Por su escasez y pequeño tamaño de los cristales es posible que no se haya observado aún en las otras zonas investigadas, pero dado que la asociación mineral es prác-

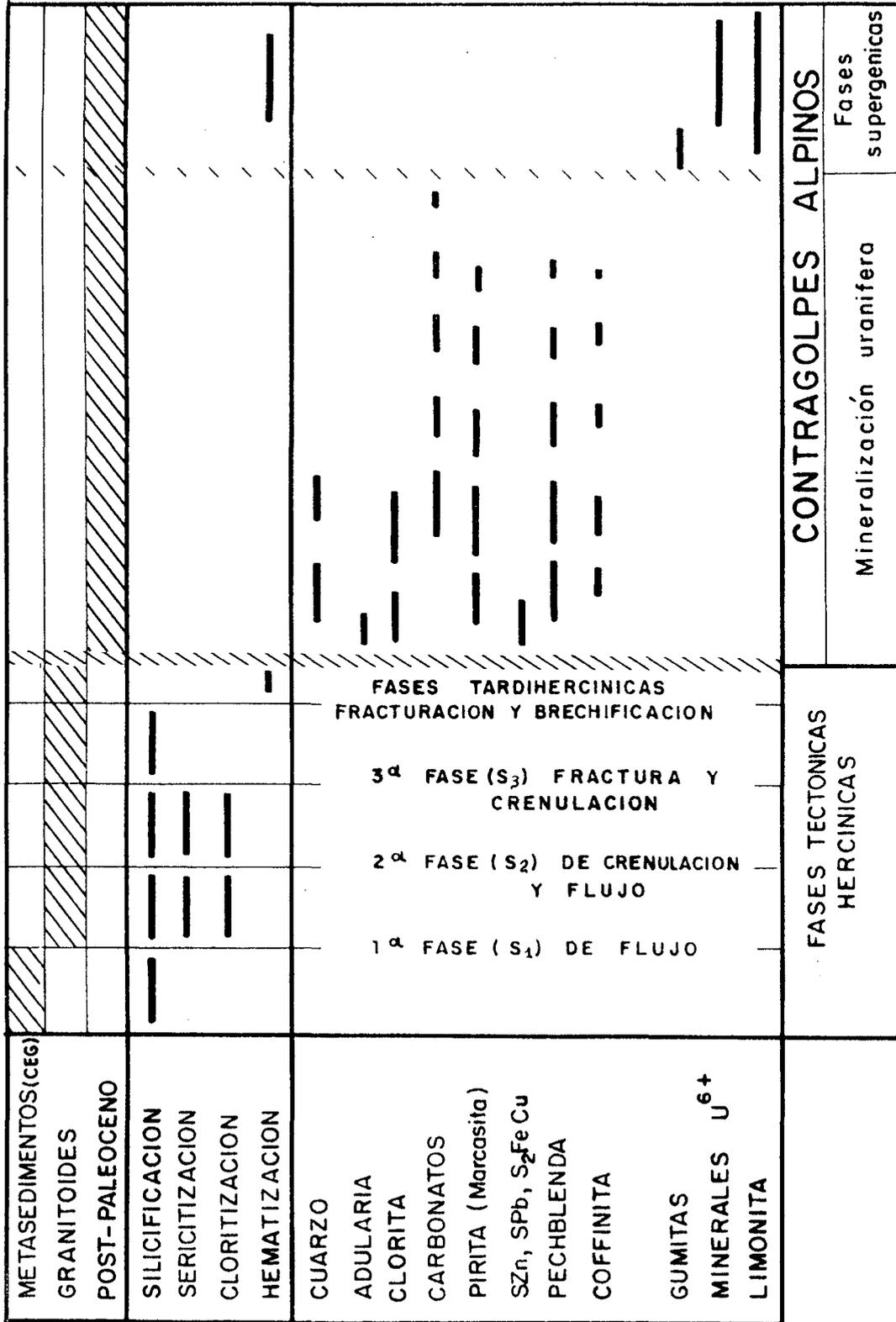


Figura 34. Diagrama mostrando la sucesión metalogénica general.

ticamente la misma en todos los yacimientos, lo lógico es que la adularia se encuentre también en ellos.

La *esfalerita* (Fig. 35), muy rara, suele presentarse en forma de pequeños agregados que se depositaron sobre la pirita y marcasita, y fueron rodeados por los óxidos de U y los carbonatos.

La *calcopirita* se encuentra como pequeños cristales junto a los fragmentos de cuarzo, y la galena suele ir acompañando a la pirita.

La *marcasita* se presenta en forma de placas o como esferulitos fibroso radiados que, entre nícoles cruzados, presentan una característica extinción rotatoria.

Dentro de los carbonatos, aparte de la *calcita* y *dolomita*, es frecuente encontrar otro de color rosado (Fig. 32) que, por su contenido en Mn. es del tipo ankerita.

La *clorita*, que es de tipo ferroso, rellena frecuentemente los huecos de las brechas, acompañando a los carbonatos.

Esta paragénesis y secuencia mineral corresponden a la de un yacimiento hidrotermal de baja temperatura, lo que se confirma por la presencia de adularia y los procesos de alteración, principalmente cloritización, que afectan a las rocas de caja.

## BIBLIOGRAFÍA

- ARRIBAS, A. (1962). Mineralogía y metalogenia de los yacimientos españoles de uranio: Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca. *Est. Geol.*, 18, 155-172.
- ARRIBAS, A. (1970). Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca. *Stud. Geol.*, 1, 7-45.
- ARRIBAS, A. (1980). Sobre el origen de las mineralizaciones españolas de uranio en rocas metasedimentarias. *Libro Jubilar J.M. Ríos Geología de España*, tomo II IGME (en prensa).
- ARRIBAS, A. (1984). Sobre el origen de los yacimientos filonianos de uranio en rocas metasedimentarias: El caso de Mina Fé (Salamanca) España. En "On vein like uranium deposits". *Int. Atm. Energ. Agen. Viena*, 211, 234.
- ARRIBAS, A. (1985). Origen, transporte y deposición del uranio en los yacimientos en pizarras de la provincia de Salamanca. *Est. Geol.*, 41; 3-24.
- ARRIBAS, A., MARTÍN-IZARD, A., MONTES, J. (1983). Las mineralizaciones de uranio de la zona de Alameda de Gardón y su posición en el contexto geotectónico de las pizarras del Oeste de la provincia de Salamanca. *Stvd. Geol. XVIII*. 201-224.

- ARRIBAS, A., MARTÍN-IZARD, A., MONTES, J. (1984). Distribución geoquímica del uranio en los metasedimentos del C.E.G. al O. de la provincia de Salamanca. *VIII Cong. Inter. de Min. y Met. Barcelona*. 1, 353-358.
- COMA, F. (1985). Litología, tectónica y mineralización de Fe, Saelices el Chico, Salamanca. *Stvd. Geol.* XX, 7-18.
- MARTÍN-IZARD, A., ARRIBAS, A. (1984). Relaciones entre la estratigrafía y las mineralizaciones uraníferas del Complejo Esquisto Grauváquico en el O. de la provincia de Salamanca. *I Congr. Español de Geología, Segovia*. II, 577-587.
- PALERO, F. (1983). Estudio geológico y metalogénico del campo filoniano de El Hoyo de Mestanza (Ciudad Real). Un nuevo modelo genético de filones de Pb-Zn en Sierra Morena Oriental. *Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca*. 165 p.

- Figura 21. Tres muestras del sondeo 20N50 tomadas a profundidades de 100 m. (centro), 103 m. (derecha) y 107 m. (izquierda).
- Figura 22. Mina Fé; aspecto de una de las brechas mineralizadas entre esquistos sólo parcialmente fracturados.
- Figura 23. Aspecto de los carbonatos precoces incluidos y parcialmente corroidos por una segunda generación de ellos (NCX65).
- Figura 24. Mineralización de tipo «varvado», originada por decantación y precipitación de fragmentos y coloides de pechblenda y carbonatos.
- Figura 25. Brecha mineralizada y cementada por la paragénesis uranífera, en la que los huecos han sido rellenados por una calcita coloidal con pechblenda y pirita.
- Figura 27. Testigo de sondeo con una fractura subhorizontal abierta y rellena por un primer carbonato y una alternancia de tipo «varvado» de pechblenda y calcita.



Fig.22

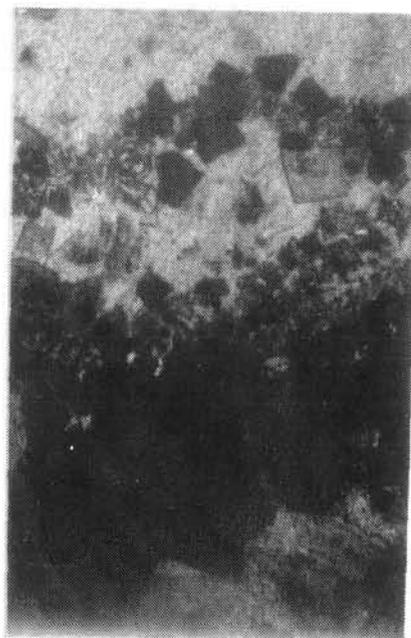


Fig.23

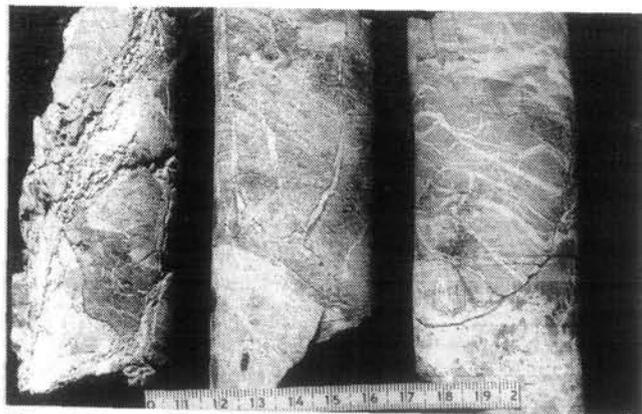


Fig.21

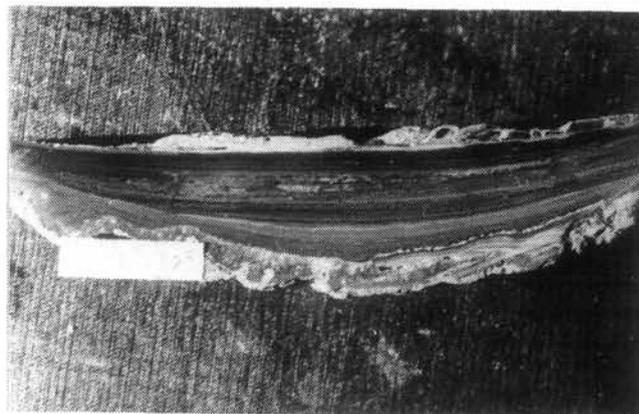


Fig.24

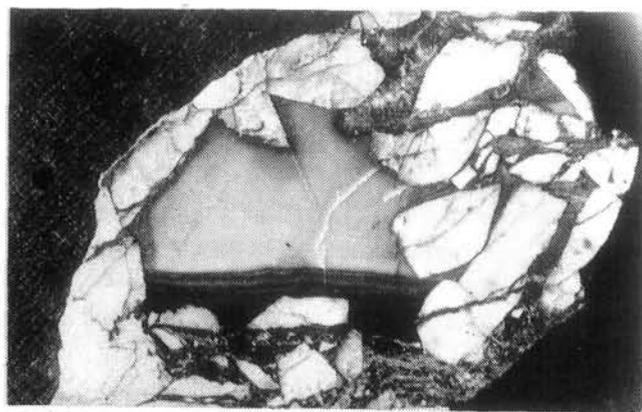


Fig.25

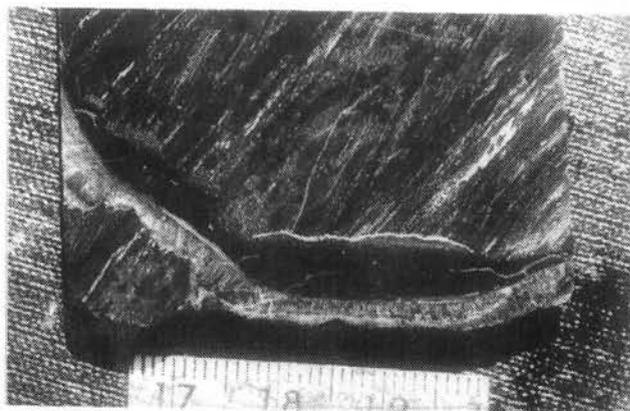


Fig.27

- Figura 28. Fractura subvertical en un testigo de sondeo rellena por crustificación de un depósito coloidal de carbonatos y pechblenda.
- Figura 29. El orden de deposición de la mineralización es sucesivamente coffinita, pechblenda, pirita y carbonatos. (LNx50).
- Figura 32. Los minerales primarios de U se encuentran siempre en zonas fracturas y brechificadas del CEG. Los minerales se depositan alrededor de los fragmentos de roca y cuarzos paleozoicos.
- Figura 33. Al microscopio las características que ofrecen las brechas mineralizadas son las mismas que en las muestras de visu (NCx25).
- Figura 35. Además de la pirita y marcasita, junto a los minerales de U aparecen cantidades menores de calcopirita, galena y esfalerita (LNx200).
- Figura 30. Las texturas y estructuras bandeadas de las mineralizaciones uraníferas son muy similares en las diferentes áreas, tanto de visu como al microscopio (LNx50).



Fig.28

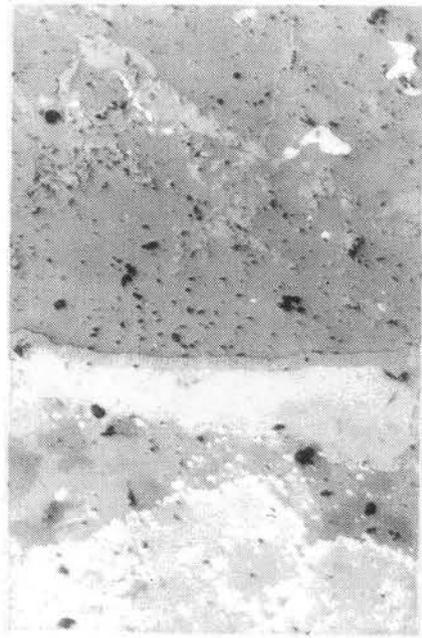


Fig.29

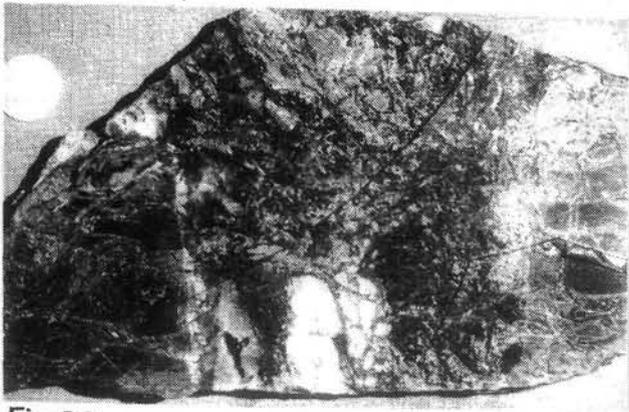


Fig.32

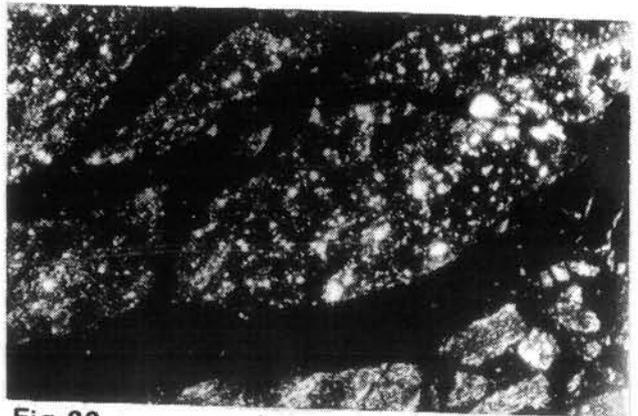


Fig.33

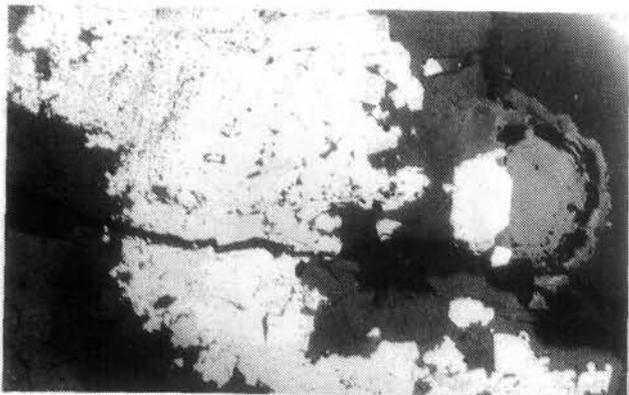


Fig.35

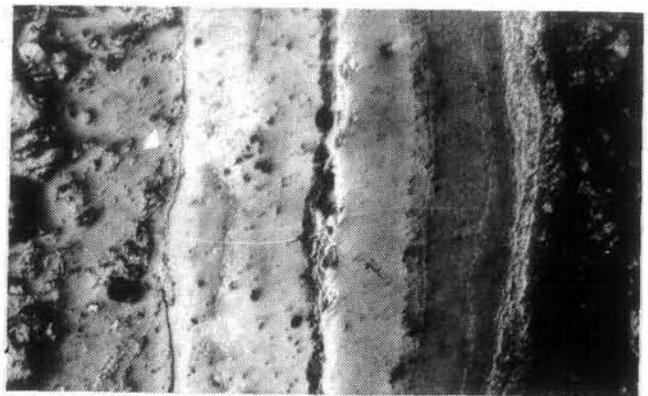
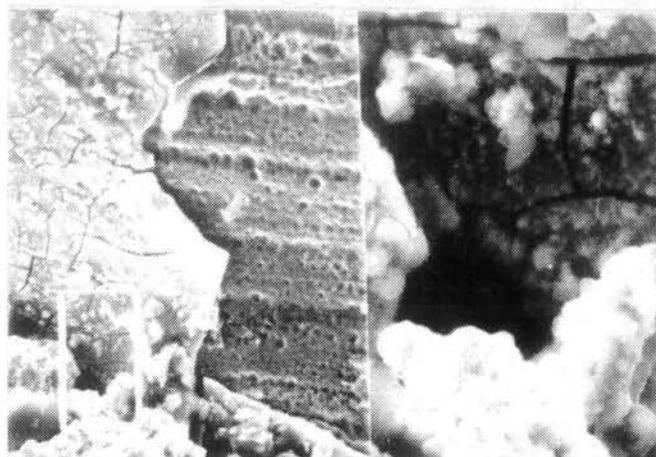


Fig.30

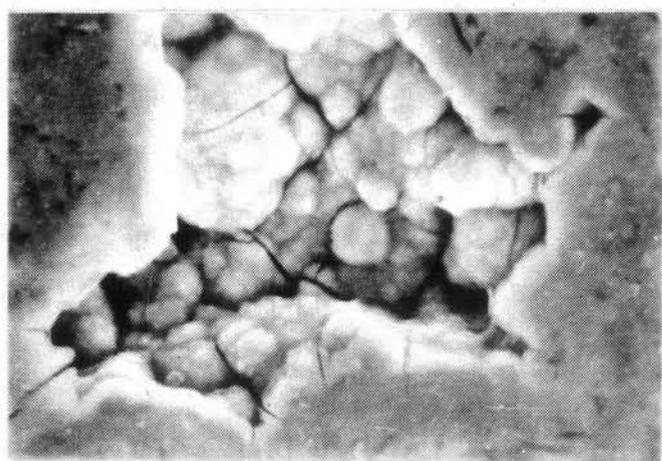
Figura 31. Imágenes electrónicas de la paragénesis uranífera. (1) Pechblenda sobre sulfuros de Fe. (2), (3) y (4) Detalle de las fracturas de retracción de la pechblenda radiales y concéntricas y del crecimiento botroidal de esta última. (5) Cristales de adularia rodeados por pechblenda-coffinita. (6) Detalle de los esferulitos de  $\text{FeS}_2$  (gris oscuro) rodeados por pechblenda (gris claro), y de los carbonatos que rellenan los huecos entre dichos minerales.



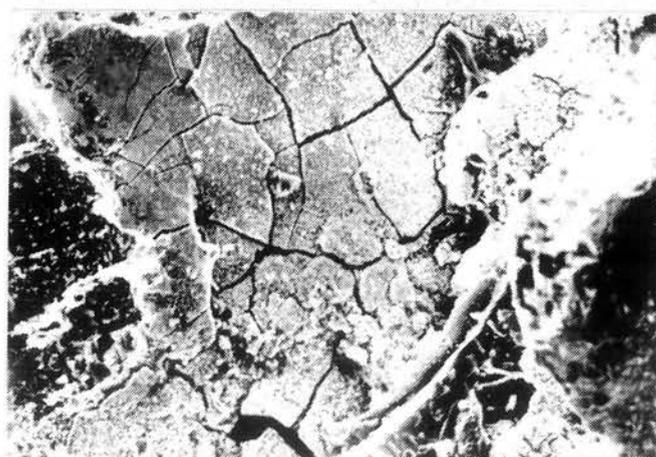
1 x 500



2 x 300



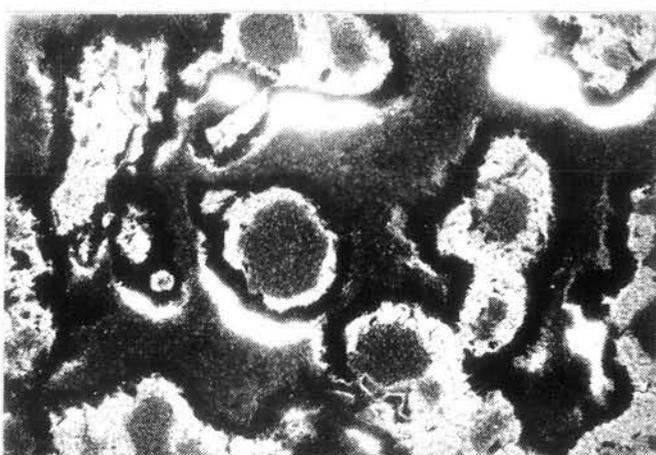
3 x 1200



4 x 1600



5 x 500



6 x 3000