



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

PROYECTO

EXPLORACION MINERA EN EXTREMADURA **(AREA SUR DEL SINCLINAL DE LA CODOSERA)**

(1989-92)

VOLUMEN I (MEMORIA)

ITGE

Julio, 1993



MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO

11337

PROYECTO

EXPLORACION MINERA EN EXTREMADURA

(1989-92)

VOLUMEN I (MEMORIA)

ITGE

Julio, 1993

INDICE

1.- INTRODUCCION	
1.1.- EQUIPO DE TRABAJO	2
2.- ANTECEDENTES	3
3.- CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS A PARTIR DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN LA RESERVA	5
4.- LITOSTRATIGRAFIA	7
4.1.- Secuencia Precámbrica	7
4.2.- Secuencia Paleozoica	9
5.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL	
5.1.- Introducción a la evolución geotectónica de la Zona Centroibérica	17
5.2.- Estructura del área de La Codosera	18
5.3.- Metodología y tratamiento de datos. Estadística esférica	22
5.4.- Análisis de fallas tardihercínicas. Distribución de direcciones de fallas y fracturas	25
5.5.- Análisis de venas de cuarzo auríferas	34
5.6.- Geometría y cinemática de las fallas	39
5.7.- Aplicación del Método Diédrico al estudio de fallas tardihercínicas	39
5.8.- Aplicación del Método Y-R para el cálculo de los Tensores de esfuerzo .	42
5.9.- Modelo Dominó (Bookshelf). Geometría e implicaciones en el control estructural de las mineralizaciones auríferas	42
6.- TIPOLOGIA DE LAS MINERALIZACIONES	
6.1.- Geometría de las estructuras mineralizadas. Cinemática de las venas ..	52

6.1.1.- Venas transversales, a alto ángulo respecto a la dirección general de las estructuras	52
6.1.2.- Indicios relacionados con fallas en dirección	53
6.1.3.- Mineralizaciones tipo "Saddle reef"	54
6.1.4.- Paleoplaceres	54
6.2.- Paragénesis y asociaciones minerales	55
6.3.- Correlación de las mineralizaciones del área de la Codosera con otras de características semejantes	67
7.- TRABAJOS DE EXPLORACION REALIZADOS	
7.1.- Litogeoquímica en Calicatas (Area de Monteviejo)	69
7.2.- Litogeoquímica en sondeos	75
7.3.- Litogeoquímica en niveles específicos	75
7.4.- Geoquímica de suelos en el Oeste de La Portilla	79
8.- SONDEOS REALIZADOS POR EL ITGE	
8.1.- Testificación de sondeos/logs	83
8.2.- Ensayo estadístico de los resultados.	86
8.3.- Correlaciones de Sondeos (Paneles)	123
9.- CONTRIBUCION DEL ANALISIS FRACTAL A LA DISCRIMINACION DE SISTEMAS FILONIANOS AURIFEROS EN LA CODOSERA	
9.1.- Introducción	130
9.2.- Distribución de potencias de los sistemas filonianos en sondeos y afloramientos	131
9.3.- Densidad de venas y mineralización	137
9.4.- Espaciado y Dimensión fractal	142
9.5.- Dimensión fractal (D) y mineralización de oro	144

10.- MODELIZACION DE LAS MINERALIZACIONES DE ORO DE LA CODOSERA	
10.1.- Modelización a escala regional	149
10.2.- Modelización a escala local	153
10.3.- Modelización metalogénico-estructural (Modelo de Percolación)	155
10.4.- Modelización numérica de contenidos minerales en estructuras favorables a escala local	158
10.4.1.- Modelización de zonas en el área de Monteviejo. "Banda" Oeste mineralizada de Monteviejo	160
10.4.2.- Modelización de la "Banda" Norte mineralizada de Monteviejo	165
10.4.3.- Modelización de la "Banda" Sur mineralizada de Monteviejo .	169
10.4.4.- Modelización de la zona mineralizada de la Casa de La Niña-Barrancones	173
10.5.- Mineralizaciones del área de la Sierra de La Breña	177
10.6.- Modelización tridimensional de la zona de Los Algarbes	177
11.- RESUMEN Y CONCLUSIONES	178
12.- RECOMENDACIONES	184
13.- BIBLIOGRAFIA	186

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

1.- INTRODUCCION

2.- ANTECEDENTES

3.- CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS

1.- INTRODUCCION

El Instituto Tecnológico GeoMinero de España viene realizando de forma ininterrumpida proyectos y programas de exploración minera en diversas áreas del país y en particular en Extremadura. Muchos de estos trabajos han de desarrollarse por contratación, por no disponerse de todos los medios y el personal que serían necesarios. Pero, debido al carácter imprevisible de muchas investigaciones, los trabajos a realizar están condicionados a los resultados que se van obteniendo. Ocurre a veces, que hay que hacer algún trabajo parcial dentro del plan general de la investigación en marcha, que no está previsto específicamente en el Proyecto de Contratación correspondiente, o bien que hay que profundizar en algunos aspectos concretos de la investigación, trabajos que no corresponden a la Empresa contratista, y que tienen que ser estudiados con mayor detalle para un mejor desarrollo de la investigación.

Por consiguiente, hay situaciones, en las que el Instituto tiene que aportar y desarrollar nuevas ideas, encaminadas a la búsqueda de nuevas metodologías. Esto debe hacerlo con sus propios medios, tecnología y personal, y no es conveniente acudir en estos casos Empresas contratistas para que desarrollen esos aspectos de investigación mas teóricos.

Además, en cualquier caso y para cualquier Proyecto, independientemente del procedimiento administrativo de ejecución, se necesita un apoyo infraestructural que por una parte, facilite la labor de los técnicos del Instituto implicados; por ejemplo, oficinas cerca de los lugares de trabajo, locales para almacenar muestras y testigos de sondeo etc., y por otra, se facilita el que haya un intercambio de opiniones y un flujo de ideas entre las Empresas contratistas y los técnicos supervisores del Instituto. De esta forma, sin duda, y estando en contacto directo con los problemas que conlleva la investigación "sobre el terreno", se puede conseguir una mejor y más eficaz supervisión, coordinación y ejecución de los Proyectos.

Para cubrir todas estas necesidades se han venido desarrollando varios Proyectos en Extremadura por el procedimiento de Administración, y el Proyecto "**Exploración minera en Extremadura 1989-92**", cuya memoria aquí se presenta, supone la continuación de los ya realizados previamente. El área de trabajo se ha centrado en La Reserva del Estado "La Codosera" (Badajoz) por el potencial interés minero de sus mineralizaciones auríferas. Los conocimientos adquiridos en anteriores fases de la investigación aconsejaron proseguir los trabajos en determinadas zonas favorables, con objeto de profundizar en su conocimiento geológico y minero y poder obtener conclusiones de aplicación en otras zonas con características similares.

La experiencia adquirida en Proyectos anteriores, realizados por el procedimiento de Administración ha confirmado la necesidad y utilidad de esta clase de Proyectos de apoyo infraestructural. En el caso de La Codosera ha sido así, pues se han combinado acciones contratadas y otras han sido ejecutadas por el propio Instituto, comprendiendo desde la realización de sondeos (el ITGE ha realizado 6800m de sondeos), campañas de geoquímica, cartografía geológico-minera, testificación y control de sondeos, tratamiento y almacenaje de muestras en la planta del ITGE en Cáceres, hasta el

desarrollo de nuevas metodologías de investigación aplicadas a la exploración, en el marco de Proyectos cofinanciados por la CEE.

Por consiguiente, a lo largo de la memoria de este Proyecto queda reflejada la labor de investigación llevada a cabo, insistiendo en aquellos aspectos que una determinada Compañía no puede acometer y que por otra parte, son propios de un Organismo de Investigación como el ITGE. El desarrollo de nuevas metodologías de exploración que puedan tener aplicación en un futuro no muy lejano es algo que se debe fomentar, no solo por el avance del conocimiento y bien de la investigación, sino también por la mejor formación de los técnicos.

1.1.- EQUIPO DE TRABAJO

El equipo del ITGE que ha llevado a cabo este Proyecto es el siguiente:

Pablo Gumiel Martinez, Dr. en Ciencias Geológicas, Jefe del Proyecto y responsable de todos los trabajos llevados a cabo en el Proyecto. Ha realizado, desde las campañas de campo, cartografía geológico-estructural del área, situación de sondeos, testificación geológico-estructural etc., hasta el desarrollo, junto con el Prof. Sanderson y el Dr Roberts (Univ. de Southampton) del método de análisis de la geometría fractal de las venas intersectadas en sondeos y en afloramientos, y su aplicación al estudio de las mineralizaciones filonianas auríferas del área de La Codosera. Finalmente, ha realizado la informatización de todos los datos de sondeos, y la redacción y elaboración de la Memoria Final del Proyecto.

Gregorio Gil Serrano, Licenciado en Ciencias Geológicas, encargado de la testificación geológica y desmuestres de sondeos, junto con otros trabajos de campo como, desmuestres de geoquímica de suelos (Oeste de La Portilla) y varias campañas de litogeoquímica. Además ha participado en la realización de la cartografía geológico-estructural del área y en la toma de medidas de venas en sondeos y afloramientos para el análisis fractal. Ha realizado trabajos de preparación de muestras en la Planta de Aldea Moret.

Rocio Campos Egea, Licenciada en Ciencias Geológicas, ha participado en la realización de la cartografía geológico-estructural del área, así como en la toma de datos de potencias de venas en sondeos y afloramientos, para el análisis fractal de la geometría de los sistemas filonianos del área de estudio.

Fernando Lopez Castañeda, Ingeniero Técnico de Minas, ha colaborado en la campaña de desmuestres para geoquímica de suelos en el Oeste de La Portilla, y en la preparación de muestras en la Planta de Aldea Moret (Cáceres).

Angel Gil y Agustín Molano, Oficiales contratados para el Proyecto, han realizado físicamente todos los desmuestres en campo y toda la Preparación y Tratamiento de muestras (sondeos, calicatas, litogeoquímica y geoquímica de suelos) en la Planta de Aldea Moret (Cáceres). **Fernando Pérez Moras**, delineante, se ha encargado de la delineación de planos y logs detallados de los sondeos realizados en el Proyecto.

2.- ANTECEDENTES (Lineas de Investigación)

Durante los últimos diez años, la exploración tradicional de yacimientos minerales se ha visto apoyada y mejorada por el empleo de nuevas tecnologías a todas las escalas. A escala regional, técnicas de geoquímica multielemental, teledetección - análisis multiespectral, utilizando imágenes Landsat TM y de alta resolución, así como el análisis de lineamientos (dominancias direccionales) -, junto con técnicas geofísicas terrestres (gravimetría estructural), heliportadas, radar etc., se emplean con objeto de llegar a establecer modelos más elaborados y áreas de predicción favorables para la localización de un yacimiento mineral.

A escala local, nuevas técnicas de geoquímica de suelos, litogeoquímica de precisión, análisis estructural - cinemática de fracturas - etc., se están empleando con bastantes buenos resultados en general.

Además, los Sistemas de Información Geográficos (GIS) que permiten analizar conjuntamente toda la información disponible a diferentes escalas, utilizando distintas combinaciones o capas de información superpuestas, suponen una valiosa herramienta en la búsqueda y exploración de yacimientos minerales.

A escala microscópica, el estudio de inclusiones fluídas y el análisis de isótopos estables (D/H, C^{13}/C^{12} , O^{18}/O^{16} y S^{34}/S^{32}) en fases minerales y en inclusiones fluídas, proporcionan información de gran validez sobre el origen de los fluídos mineralizadores, su composición y las condiciones de precipitación de los metales. Igualmente, estudios modernos de componentes gaseosos disueltos en los fluídos mineralizadores, así como de la interacción de dichos fluídos con las rocas encajantes, proporcionan buenos índices de exploración en determinados yacimientos filonianos. Técnicas de discriminación de cuarzos estériles y mineralizados (Termoluminiscencia y Catodoluminiscencia) han sido aplicadas con éxito en algunos casos.

En el año 1986, Turcotte aplica los descubrimientos de Mandelbrot (1967) sobre la organización fractal de la naturaleza y comprueba que las relaciones tonelaje/ley de algunos yacimientos de Hg, Cu y U de Estados Unidos presentan distribuciones fractales.

En el año 1991 y bajo los auspicios del Proyecto de cooperación entre la Universidad de Southampton y el ITGE, financiado en parte por la CEE :*"Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of western Iberian Peninsula"*, surge por parte de un equipo de investigadores de ambas Instituciones - el Prof. Sanderson, el Dr. Roberts (U. Southampton) y el Dr. Gumiel (ITGE)- la idea de aplicar las técnicas de análisis fractal a la ordenación "irregular" de los sistemas filonianos auríferos del área de La Codosera.

Este área fué seleccionada, debido al conocimiento que de ella se posee a través de los proyectos que el ITGE viene realizando, así como el cofinanciado por la CEE anteriormente mencionado. Los mas 6000m de sondeos de exploración, realizados por el ITGE en el Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera, han supuesto un gran avance en el conocimiento del potencial minero del área.

La información que un sondeo mecánico proporciona es indispensable e insustituible en todo proyecto de exploración minera. Aún con el desarrollo de nuevas tecnologías que hoy día pueden aplicarse, al final, un sondeo con recuperación de testigo continuo es la única herramienta que proporciona muestras en profundidad, de aquí que sea insustituible.

La valiosa información que un sondeo con recuperación de testigo continuo proporciona, tanto desde un punto de vista geológico -para el conocimiento de la Serie Estratigráfica-, como desde un punto de vista económico y minero -con desmuestres sistemáticos y análisis de muestras no alteradas- para la valoración de leyes y tonelajes, representa un elevado coste.

Al disponer de los testigos de sondeos que el ITGE tiene del área de La Codosera, además de la información "tradicional" que éstos suministran, surgió la idea de obtener más información, de querer avanzar más en el conocimiento de la organización y distribución de los diferentes sistemas filonianos que existen en el área, los cuales presentan una característica principal común, que es su "irregularidad". Si se llega a conocer con detalle la organización de esa "irregularidad", a qué leyes obedece la distribución espacial de las venas, y en definitiva, a discriminar cuales son los conjuntos de venas auríferos y por qué la precipitación y concentración metálica en oro se produce en unos y no en otros grupos de venas, se habrá avanzado mucho en el conocimiento de la organización y caracterización formal de un grupo de yacimientos, que en principio, se ha considerado históricamente errático o caótico.

La única forma de abordar el problema es mediante la aplicación de técnicas de análisis fractal a los diferentes conjuntos filonianos. El "grado de irregularidad o interrupción" de un sistema natural se mide mediante su "dimensión fractal". De aquí que el trabajo de Sanderson, Roberts y Gumiel (in litt.) pueda considerarse como pionero en el tema, y además, haya sido el "motor" y a la vez el "ensayo" que justifica la aplicación de estas ideas en el presente Proyecto.

3.- CONOCIMIENTOS ADQUIRIDOS A PARTIR DE LOS TRABAJOS REALIZADOS EN LA RESERVA.

El área de La Codosera está situada al Norte de la Provincia de Badajoz, a 40 Km de la capital y a 90 Km al SW de Cáceres. El perímetro de La Reserva está formado por los arcos de los paralelos que unen los vértices 1 con 2 y 3 con 4, el arco de meridiano que une los vértices 2 con 3 y la línea de frontera entre los vértices 1 y 4. Se compone de unas 947 cuadrículas mineras, con una extensión de 28.410 Ha y queda incluida en las Hojas nº 726 y 727 del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:50.000.

El área de Reserva está atravesada por el río Gévora y los medios de comunicación por carretera son excelentes mediante los accesos: carretera Badajoz-La Codosera, carretera La Codosera-San Vicente de Alcántara por el Norte y La Codosera-Alburquerque-Cáceres por el Este-Noroeste.

El área queda delimitada por arcos de meridianos referidos al de Greenwich y de paralelos determinados por la unión de los siguientes vértices, expresados en grados sexagesimales:

Vértices	Longitud	Latitud
1	Intersección con la línea de la frontera	39°20'00" N
2	7°04'00"	39°20'00" N
3	7°04'00"	39°10'00" N
4	Intersección con la línea de la frontera	39°10'00" N

El perímetro así definido delimita una superficie de 947 cuadrículas mineras aproximadamente.

Art. 2º. La Reserva de esta zona no limita los derechos adquiridos con anterioridad a la inscripción número 225, publicada en fecha 28 de Marzo de 1985 en el B.O.E nº 143, de 15 de Junio de 1985.

Los resultados de los trabajos realizados en La Reserva de La Codosera durante el periodo 1989-92, que han sido continuación de las sucesivas fases de exploración que el ITGE viene realizando, se van a exponer resumidamente a continuación. Estos han supuesto un gran avance en el conocimiento geológico y minero de La Reserva, suficiente como para tener criterios de selección de áreas con mayor potencial minero. De aquí, que esta memoria justifique la necesidad de reducir áreas de La Reserva que, en base a los conocimientos adquiridos, no muestran especial interés desde el punto de vista de las mineralizaciones auríferas objeto del Programa de Exploración.

Los conocimientos que en el año 1990 se poseían de La Reserva aconsejaron centrar los objetivos de la investigación en el Sector Sur del Sinclinal de La Codosera (Fig.1. en Volumen III-Planos-), en el que se han realizado los siguientes trabajos:

En primer lugar, se ha hecho una importante labor de síntesis a todas las escalas. La recopilación de la información existente, obtenida de los Proyectos que el ITGE ha llevado a cabo en La Reserva de La Codosera, junto con la informatización de los datos, fué realizada por INGEMISA, quien ha trabajado para el ITGE por régimen de contratación, adjudicado mediante el procedimiento de concurso, al amparo de lo establecido en el Decreto 1005/74 de Abril (BOE, 23 de Abril de 1974) por el que se regula la contratación de estudios, en el Proyecto: **"Continuación de la Prospección y Exploración de oro en el área de La Codosera (1991)"**. Entre los trabajos desarrollados hay que resaltar el replanteamiento llevado a cabo sobre el terreno, de los perfiles de geoquímica de suelos realizados en anteriores fases de exploración, análisis de los resultados y comprobación de anomalías. Así mismo, la puesta a punto del laboratorio de análisis químicos. Además, se ha elaborado una cartografía geológica de síntesis, en base a las ya existentes, junto con los nuevos datos aportados en esta fase de la investigación.

Las principales conclusiones que se obtuvieron en el mencionado Proyecto se pueden sintetizar de la siguiente forma: En primer lugar, en base al número de calicatas realizado se pusieron de manifiesto una serie de "Bandas" mineralizadas, relacionadas con fracturas de dirección N 110-130°E, con anchuras que oscilan entre métricas y más de 100m, con longitudes de varios centenares de metros. También hay mineralización asociada a fracturas N 160-170°E y N-65-70°E.

A pesar de que con las calicatas y sondeos realizados en este Proyecto, no se consiguió definir una mineralización con suficiente ley en oro y dimensiones que pudieran considerarla explotable, no se puede descartar el posible interés económico de áreas como Monteviejo, Matasiete, La Portilla de los Bastos y la continuidad de la Casa de La Niña-Barrancones.

Por otra parte, se identificaron unos materiales constituidos por sedimentos detríticos groseros (fanglomerados y/o debritas), que se interpretaron como sedimentos implicados en una dinámica fluvial (abanicos aluviales), de posible edad Plioceno y/o Pliocuaternario, por correlación con otros parecidos de la Cuenca del Guadiana. Las debritas aflorantes en Barrancones, Monteviejo y Sur de la Sierra de La Breña, podrían ser explotables por su contenido en oro, sin demasiados costes. Ocasionalmente, se podrían tratar también algunas bandas de pizarras sericiticas con venas de cuarzo mineralizadas, completando así la instalación de aprovechamiento de las debritas.

Las recomendaciones del Proyecto aconsejaron continuar la investigación en áreas como la Casa de La Niña-Barrancones, en base a los resultados obtenidos en las calicatas superficiales. También se recomendó proseguir la investigación en el área de Monteviejo, en la Sierra de La Breña y en La Portilla de Los Bastos, sin olvidar la mitad oriental de la zona de La Tojera.

CAPITULO 4

CAPITULO 4 .- LITOESTRATIGRAFIA

En este capítulo se resumen las características litoestratigráficas del área de La Codosera, desde la Secuencia Precámbrica a las Series Paleozoicas, incidiendo especialmente en la litología del Devónico Inferior, ya que en sus alternancias de cuarcitas, pizarras y areniscas ferruginosas se encuentran principalmente las mineralizaciones de oro objeto de este estudio.

4.- LITOESTRATIGRAFIA

Desde el punto de vista geoestructural, el área de La Codosera se sitúa en el límite sur de la Zona Centroeibérica, próxima a la Zona Ossa Morena (Fig.1/a), y puede subdividirse en una serie de unidades tectonoestratigráficas bien definidas, que además se corresponden con dominios fisiográficos claramente identificables (Fig.1/b):

- El Complejo Esquisto-Grauváquico (CEG), constituido principalmente por pizarras y grauvacas, que aflora predominantemente en el norte del área.
- Los materiales paleozoicos que son principalmente alternancias de cuarcitas y pizarras, y constituyen los sinclinales.
- Las rocas graníticas que intruyen en el CEG y en el Paleozoico.

4.1.- Secuencia Precámbrica

Se trata de una potente sucesión de rocas detríticas (varios miles de metros de espesor ?) que da lugar a amplios afloramientos en Extremadura y se conoce bajo el nombre de "Complejo Esquisto-Grauváquico-CEG) (Carrington da Costa 1952). Comprende una monótona sucesión de filitas, pizarras y grauvacas, en las que ocasionalmente se encuentran niveles carbonatados y rocas volcánicas a techo de la serie, y su edad se atribuye al Proterozoico Superior (Rifeense Superior/Cámbrico Inferior). Desde un punto de vista sedimentológico, se trata de un conjunto de naturaleza flyschoides en el que pueden reconocerse facies turbidíticas, sin embargo, dada la monotonía litológica y la ausencia de niveles-guía, no se pueden establecer correlaciones entre los diferentes sectores.

En el sector de La Codosera (Fig. 4.1/b), el CEG aflora principalmente al norte del Sinclinal de La Codosera y está formado por una monótona secuencia de pizarras y grauvacas, la cual puede subdividirse en dos Unidades separadas por una discordancia. La Unidad Inferior es Proterozoica e incluye principalmente pizarras y grauvacas, mientras que la Unidad Superior es más variada e incluye calizas, areniscas y conglomerados y su edad se atribuye al Vendiense y/o al Cámbrico Inferior.

La mayoría de los afloramientos situados al norte del Sinclinal de la Codosera pertenecen a la Unidad Inferior del CEG, mientras que las rocas fuertemente deformadas (microconglomerados o "porfiroides" de la Fm Urra) que se encuentran en el flanco sur (Fig. 4.2), pueden corresponder con la Unidad Superior. La Formación Urra fué considerada como Vendiense por Gumiel & Gallego (1991), o incluso pueden atribuirse al Cámbrico Inferior (Apalategui inf.pr.,1992).

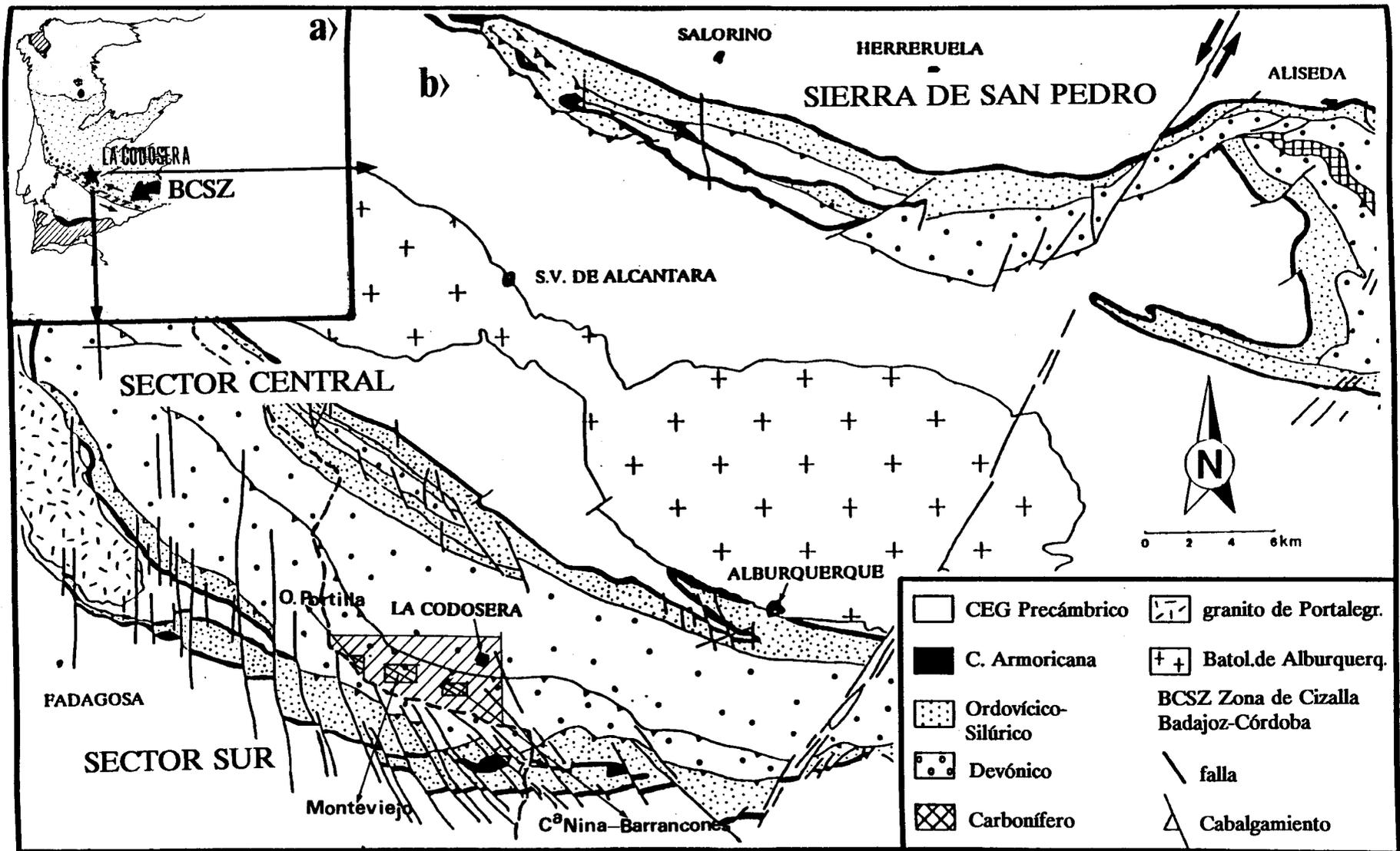


Fig.4.1/a.- Situación de la zona de La Codosera en el borde sur de la Zona Centroibérica, próxima a la Zona de Ossa Morena. 4.1/b.- Esquema geológico de la zona de Alburquerque-La Codosera con los principales dominios litoestratigráficos y situación del área con mineralizaciones auríferas estudiadas.

4.2.-Secuencia Paleozoica

El Paleozoico Inferior está bien representado en el Sinclinal de La Codosera (Fig.4.2), reposa discordante sobre el CEG y está constituido principalmente por alternancias de cuarcitas y pizarras que ocupan tres alineaciones montañosas bien definidas (Fig. 4.1/b):

- Sector Norte/ Sierra de San Pedro.
- Sector Central/ Sierra de Jola-Alcorneo.
- Sector Sur, que incluye rocas intensamente deformadas, desde el Precámbrico Superior hasta el Devónico.

Cuarcita Armoricana (Arenig)

La base de la Serie Paleozoica esta bien caracterizada por la Cuarcita Armoricana de edad Arenig que puede considerarse un nivel guía cartografiable. Esporádicamente por debajo de esta cuarcita aparece una secuencia de pizarras ocre y rojas, areniscas y microconglomerados que podrían corresponder con la serie "lie de vin" de Tamain (1972) de posible edad Tremadoc, y que se sitúan directamente sobre los materiales del CEG.

La Cuarcita Armoricana está constituida por niveles de cuarcitas y areniscas cuarcíticas que se disponen en bancos de potencia variable, desde decimétricos a métricos, y son de color blanco-grisáceo. Las cuarcitas presentan gran cantidad de venas de cuarzo y suelen estar muy recristalizadas, por lo que resulta difícil identificar estructuras sedimentarias. No obstante, pueden reconocerse estratificaciones cruzadas de bajo ángulo y pequeñas bases canalizadas. También se han encontrado cruzianas. La potencia puede estimarse en unos 50 metros aproximadamente.

Alternancias de cuarcitas y pizarras

Por encima de la Cuarcita Armoricana y concordantes, se encuentran unas alternancias de pizarras, areniscas y cuarcitas bien estratificadas y ordenadas en secuencias estrato y granodecrecientes que se han correlacionado, por su situación estratigráfica, con las denominadas "Capas Pochico" por Tamain (1972) del Valle de Alcudia. La potencia de este tramo no sobrepasa los 30 metros, ya que en general la serie está muy condensada con respecto a su equivalente de Sierra Morena Oriental o de Almadén. El resto de la secuencia del Ordovícico y Silúrico se ha correlacionado con la "Serie Tipo" del Sinclinal de Almadén (Ortega, 1988).

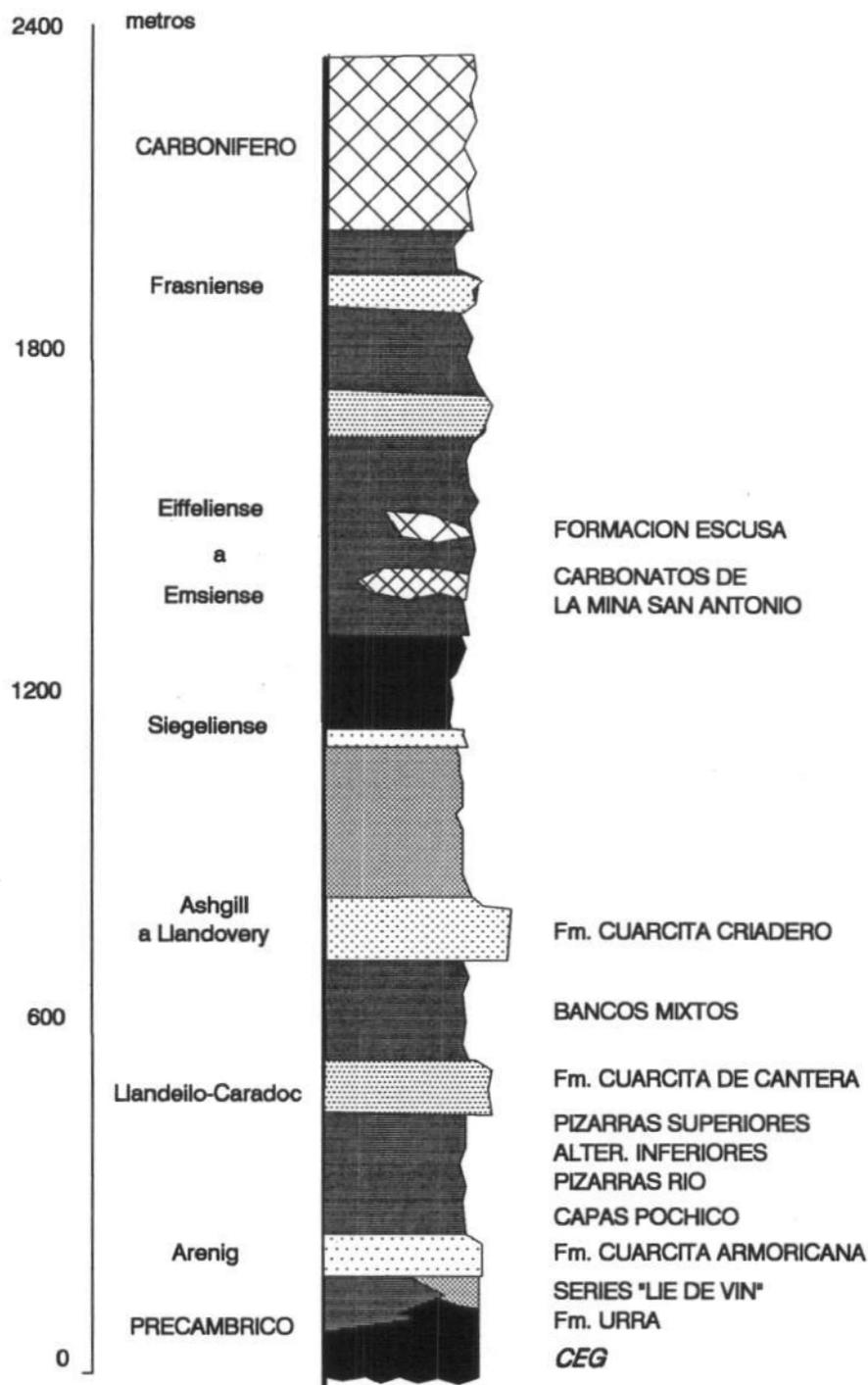


Fig.4.2.- Serie estratigráfica generalizada del área de La Codosera.

Sobre las Alternancias Pochico reposan de forma concordante, unos 150 metros de pizarras negras equivalentes a las "Pizarras Rio" del Llanvirn y una serie detrítica, constituida por areniscas, cuarcitas y pizarras, que no sobrepasa los 60 metros de espesor y es similar a las "Alternancias Inferiores" del Llandeilo. Sobre esta Formación suelen aparecer pizarras negras ("Pizarras Superiores", muy semejantes a las Pizarras Rio), con un espesor aproximado de 50 metros, y que podrían correlacionarse con las "Pizarras Botella" o "Esquistos con Calymenes" del sector de Almadén.

Cuarcita de Cantera

Sobre la Formación anterior, se encuentra una serie de cuarcitas y areniscas masivas de color gris, que en el área de La Codosera están muy recristalizadas y silicificadas, y que se presentan ordenadas en secuencias estrato y granocrecientes. Su potencia oscila entre 30 y 50 metros y se ha utilizado también como nivel guía cartografiable, asimilándole a las denominadas "Cuarcitas de Cantera" del área de Almadén, de edad Llandeilo Superior-Caradoc.

Serie Intermedia (Ashgill)

Concordante sobre la Formación anterior, se dispone una serie alternante de lutitas, pizarras negras con abundante pirita, junto con intercalaciones de areniscas y cuarcitas blancas con nódulos ferruginosos esporádicos y limolitas. Esta Formación es correlacionable con los denominados "Bancos Mixtos" de Sierra Morena Oriental (Tamain et al, 1970) y equivalentes a las "Alternancias Superiores" de Saube (1971).

Cuarcitas del Criadero (Ashgill-Llandovery)

Son cuarcitas finamente tableadas, en capas bien estratificadas de espesor centimétrico a métrico, con estratificaciones cruzadas de surco y pequeñas bases canalizadas. En ocasiones, se pueden distinguir dos barras cuarcíticas diferentes separadas entre sí por niveles lutíticos de pequeña potencia. Presentan abundantes venas de cuarzo y ferruginización, lo que les confiere, a veces, un color rojizo. La potencia de esta unidad, también considerada como nivel guía cartografiable, oscila entre 40 y 50 metros.

Serie Superior (Llandovery-Devónico Inferior).

Sobre la Cuarcita del Criadero se encuentra un tramo de pizarras negras, grafitosas muy ricas en pirita, alternando a veces, con niveles arenosos y dando estratificación tipo flaser. En ocasiones, se encuentran abundantes restos de *Monograptus* sp. y braquiópodos intensamente piritizados. Esta secuencia sería correlacionable con las "Pizarras con Monograptidos (Llandovery) de Sierra Morena Oriental. Por encima de estos niveles aparece una sucesión de pizarras con intercalaciones de limolitas, areniscas y cuarcitas, a veces muy ferruginizadas, que se presentan en bancos de potencia métrica. El espesor de este tramo no sobrepasa los 100 metros.

Cuarcita de Base del Devónico

Está representada por alternancias de cuarcitas y areniscas cuarcíticas grises, normalmente muy ferruginizadas y atravesadas por gran cantidad de venas de cuarzo. En algunas zonas se encuentran finamente tableadas, con estratificación cruzada de bajo ángulo y ripples. Su potencia oscila entre 40 y 50 metros.

Por encima del tramo anterior se presenta una serie de edad Devónico Inferior-Medio que forma el Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera. Esta sucesión consiste en una alternancia de pizarras negras y lutitas pardo-rojizas junto con areniscas cuarcíticas y algún banco aislado de cuarcitas de potencia decimétrica. Están intensamente ferruginizadas y en el flanco sur aparecen atravesadas por gran cantidad de filones de cuarzo aurífero de potencia variable.

Dado el interés de los materiales devónicos del Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera, como rocas encajantes de las mineralizaciones auríferas, se ha efectuado un levantamiento litológico de esta unidad (Fig. 4.3) que ha servido de base a la realización del mapa geológico provisional de la zona (Fig. 4.4) y que ha supuesto un mejor conocimiento de aquellas litologías que pueden albergar mineralizaciones. El levantamiento de la Unidad Devónica se efectuó mediante la localización de niveles-guía en tramos mejor conocidos de la Serie en Portugal, y tratando de buscar y localizar la continuidad de dichos tramos en la parte española. La columna litológica, según Gil, Gumiel y Campos (1990-91) puede observarse en la Fig. 4.3. A continuación se presenta una sucinta descripción de la misma de Muro a Techo;

- La base de la Unidad Devónica, inmediatamente a techo y posiblemente discordante con las Pizarras del Silúrico, está constituida por un resalte topográfico de cuarcitas, en bancos bien definidos, de 10 a 15m de potencia, con huellas, bioturbación e importante ferruginización. Puede corresponder con la Cuarcita del Siegeniense (?).

- Por encima se encuentra una alternancia de pizarras y cuarcitas ferruginosas; las cuarcitas presentan afloramientos discontinuos y bases acanaladas y topográficamente constituyen zonas deprimidas con bastante coluvión. Su potencia oscila entre 80 y 100m.

- En tránsito gradual se presenta la denominada Unidad Devónico-Inferior o Serie detrítica basal, formada por unos 30 o 40m de alternancias de cuarcitas grises y pizarras grises sin hematización.

- Por encima se encuentra un tramo entre 10 y 30m de pizarras ferruginosas, y continúa la Serie con un resalte topográfico (ya observable en la zona española, al Sur de la carretera que va a la Tojera), el cual está constituido por un tramo de 10-15m de potencia, de areniscas vinosas muy ferruginizadas, con abundantes pistas y con una característica importante y diferencial que es la presencia de niveles interestratificados de magnetita (punto 5, Fig.4.3).

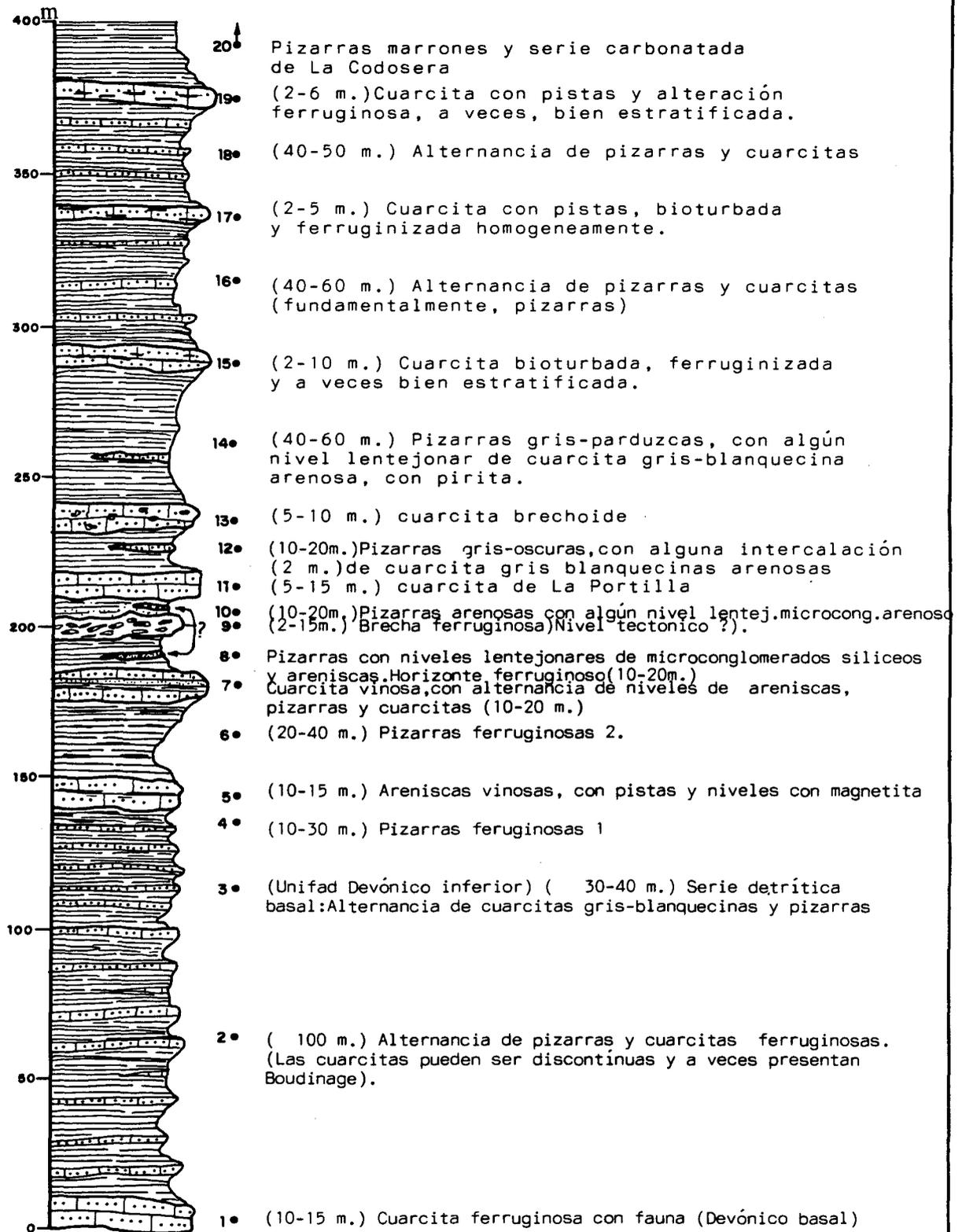


Fig.4.3.- Serie estratigráfica de detalle del Devónico, encajante de las principales mineralizaciones auríferas, del flanco sur del Sinclinal de La Codosera.

- Siguen entre 20 y 40m de pizarras ferruginosas (punto 6, Fig.4.3), y por encima se encuentra un tramo formado por alternancias de niveles de cuarcitas "vinosas", areniscas y pizarras con una potencia entre 10 y 20m.

- En tránsito gradual aparecen unas pizarras con niveles lenticulares de microconglomerados silíceos y areniscas de grano fino, que constituyen un horizonte ferruginoso diferenciable, con un espesor comprendido 10 y 20m.

- Por encima hay un nivel de brechas con fragmentos de cuarcitas, pizarras y cuarzo, en matriz ferruginosa. Tiene un espesor que oscila entre 2 y 15m, y su situación marca el límite entre el Tramo detrítico basal y la serie cuarcítico-pizarrosa superior.

- A continuación del nivel anterior y concordante, se encuentra un tramo de 10-20m de pizarras arenosas con niveles lenticulares de microconglomerados. Por encima, se encuentra uno de los niveles-guía cartografiables que se ha denominado Nivel Cuarcítico de La Portilla (punto 11, Fig.4.3 y Fig.10.2, capítulo 10), con una potencia entre 5 y 15m, y que constituye un resalte bien diferenciable en el Cerro de La Portilla, donde son numerosos los indicios de oro. Se trata de una cuarcita gris-clara, localmente ferruginosa y recristalizada, bien estratificada y a veces, con sulfuros diseminados (pirita y arsenopirita alterada parcialmente a escorodita). En este nivel de cuarcitas son muy abundantes las zonas filonianas y el desarrollo reticular de finas venillas de cuarzo irregularmente distribuidas (veining de cuarzo), que ha sido utilizado como un criterio de prospección en la testificación de sondeos (Capítulo 8) y en el análisis y reconocimiento de afloramientos superficiales.

Hay que insistir en que muchos indicios de oro, así como algunas anomalías geoquímicas de suelos y en calicatas se encuentran, o bien en este nivel, o en los tramos inmediatamente inferiores o superiores en la denominada zona de La Portilla.

- Por encima de la Cuarcita anterior se dispone un conjunto de pizarras grises-oscursas de 10 a 20m de espesor, con alguna intercalación de aspecto lenticular, de cuarcitas arenosas que no sobrepasan los 2m de espesor. Sobre las pizarras y concordantes con ellas, se encuentra un tramo de cuarcitas, de aspecto brechoide y matriz ferruginosa, que no sobrepasa los 10m de potencia.

- A continuación, una parte constituída por pizarras grises, con 40-60m de espesor, y por encima otro nivel cartografiable de bastante continuidad lateral, que forma un resalte de cuarcitas con bioturbación y de carácter ferruginoso (Punto 15, Fig. 4.3). Por encima, 40-60m de alternancias de pizarras y cuarcitas, predominando las pizarras, y a continuación, otro nivel con suficiente continuidad lateral, como para ser cartografiado. Este nivel está formado por cuarcitas con abundantes pistas, presenta una hematización homogéneamente distribuída y no supera los 5m de espesor (Punto 17, Fig.4.3).

- A techo, un tramo predominantemente pizarroso con algún nivel de cuarcitas, con un espesor próximo a los 50m, hasta llegar a otro resalte diferenciable de cuarcitas bien estratificadas y muy ferruginosas, con un espesor que oscila entre 2 y 6m. Este es el último nivel cartografiable de cuarcitas, por encima del cual se encuentran las pizarras grises, con colores pardo-marrones de alteración, que forman el núcleo del Sinclinal de

La Codosera (Fig. 4.4 y Plano Geológico general, Tomo III-Planos-).

Hay que destacar la existencia de dos niveles carbonatados intercalados dentro de estas pizarras. El primero se trata de una alternancia de calizas negras tableadas, silíceas, calizas dolomíticas y pizarras grises y negras. Dentro de estos niveles carbonatados se encuentran brechas intraformacionales, fuertemente deformadas, con cantos de cuarzo, chert, pizarras y calizas en una matriz carbonatada, que constituyen la roca encajante de la mineralización de Sb-W de San Antonio (Gumiel et al, 1979, Gumiel,1983). La edad se ha establecido en Cobleciense Superior- Eifeliense Inferior por Santos y Casas (1979). La potencia es variable, entre 60 y 150 metros, y este nivel va acuñándose progresivamente hacia el oeste, hasta desaparecer en las inmediaciones de La Codosera. El otro tramo carbonatado (Formación Escusa, Fig.4.2) aflora en el flanco norte del Sinclinal y corresponde a calizas de ambiente arrecifal. Se trata de calizas dolomíticas intercaladas entre pizarras ampelíticas y han sido datadas como Couviniense (Correia Perdigao & Peinador Fernandes 1976).

Interestratificadas en la serie Devónica se encuentra un conjunto de rocas volcánicas (diabasas, tobas, etc) que llegan a constituir una serie volcano-sedimentaria. Estas rocas muestran efectos de alteración hidrotermal, lo que en parte, condujo a asignar un origen hidrotermal-exhalativo a la mineralización de Sb-W de San Antonio (Gumiel, 1982), probablemente relacionado con una actividad póstuma (fumaroliana) de este volcanismo intradevónico.

Finalmente, mencionar los aluviones y eluviones cuaternarios, así como derrubios típicos de las sierras cuarcíticas, y destacar un conjunto de materiales de aspecto coluvionar que forma un depósito desordenado, constituido por bloques y fragmentos de pizarras y cuarcitas en matriz arcillosa generalmente ferruginizada, que ha sido interpretado como un depósito de tipo fanglomerático (Proyecto: "*Continuación de la Prospección y Exploración de oro en el área de La Codosera*"). Estos depósitos, que ya han sido estudiados con mayor detalle en el mencionado Proyecto no son objeto de estudio en esta memoria, y por lo tanto solo se mencionarán de nuevo en el Capítulo 6 por ser un tipo de mineralización aurífera de la zona, que además puede tener un considerable interés económico en el futuro.

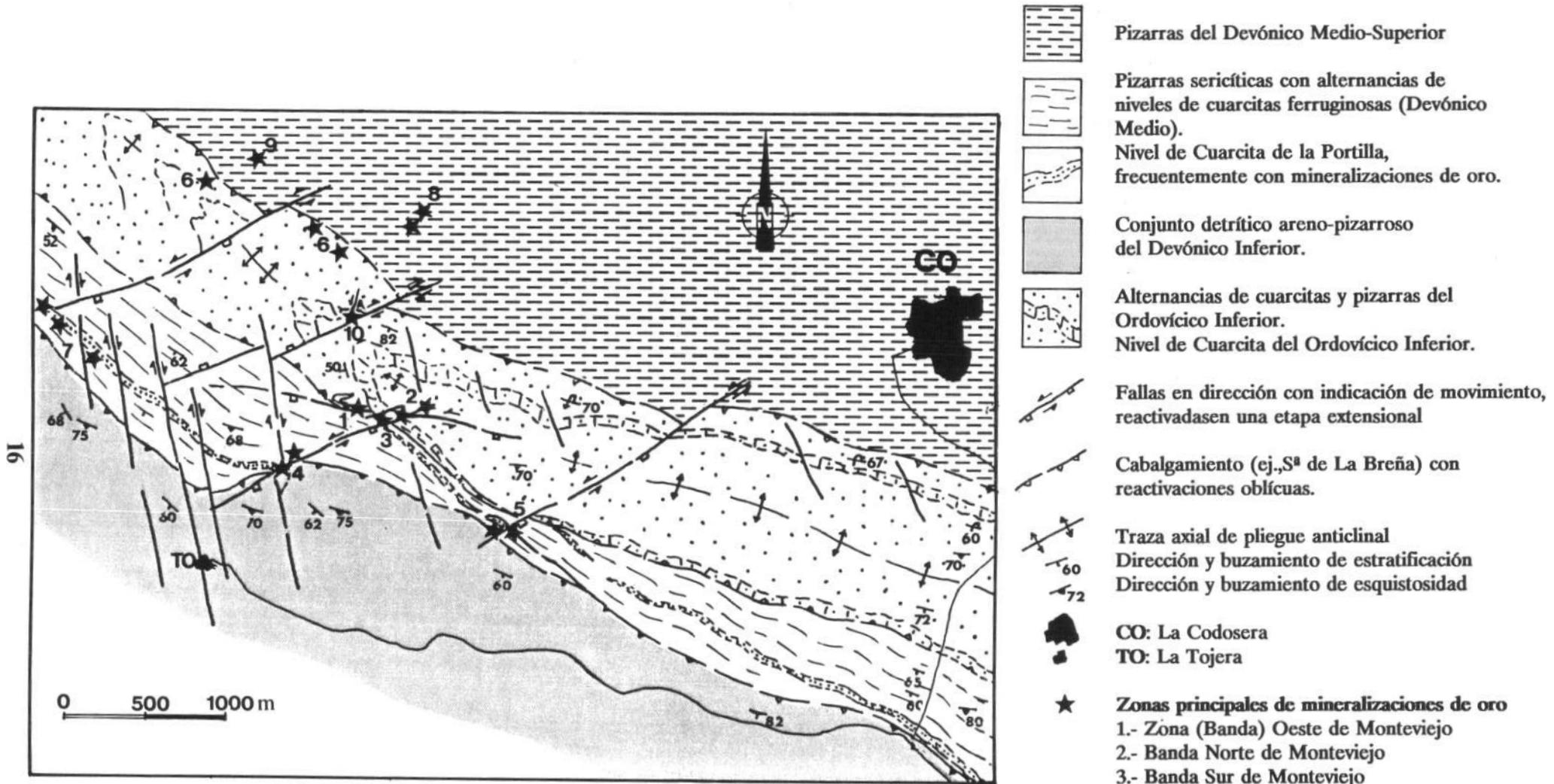


Fig.4.4.- Esquema geológico provisional de la Zona Aurífera del Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera y situación de las principales mineralizaciones. (El mapa original, a escala 1:10.000, se encuentra en el Volumen III (Planos) que acompaña a esta memoria.

CAPITULO 5

CAPITULO 5.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL

En este capítulo se presentan las características estructurales del área de La Codosera. Se ha prestado especial atención a las fallas tardihercínicas, puesto que a favor de las mismas, se encuentran las principales mineralizaciones filonianas auríferas de la zona. A partir de las calicatas realizadas se han obtenido datos estructurales de venas mineralizadas y de fracturas.

Por otra parte, la aplicación del método diédrico a las fallas estudiadas aporta datos de interés sobre la geometría y cinemática de algunas fallas, y finalmente, las fallas tardihercínicas y venas auríferas se encuadran dentro del modelo "Dominó" (Bookshelf) de fallas tardías del Sinclinal de La Codosera y se resalta su geometría e implicaciones en el control estructural de las mineralizaciones auríferas.

5.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL

5.1.- Introducción a la evolución geotectónica de la Zona Centroibérica

La evolución geotectónica de la Zona Centroibérica se caracteriza por tres fases. Una fase inicial de **rifting** que se situaría desde el Precámbrico terminal al Cámbrico Superior. Esta fase extensional conlleva una transgresión que da lugar al desarrollo de grandes plataformas en las que se depositan sedimentos clásticos y carbonatados. La transición a la siguiente fase de **márgen pasivo** (desde el Ordovícico hasta el Carbonífero) está señalada por una heterócrona discordancia angular, que comprende desde el Ordovícico Inferior en el SW, hasta el Silúrico Inferior hacia el NW (dominio Centro-Trasmontano, Ribeiro, 1974). Las condiciones de márgen pasivo prevalecieron en el Paleozoico Superior hasta que se produjo la colisión entre Iberia y el Macizo Armoricano, con el desarrollo de la Orogénia Hercínica. Todos los materiales sedimentarios fueron deformados durante esta fase hercínica (desde el Carbonífero al Pérmico), que es la responsable de la organización estructural actual de los diferentes Terrenos del Macizo Hespérico. En esta fase la deformación se concentró en grandes zonas de cizalla, una de las cuales es la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba, de claro sentido sinistral y que ejerció gran influencia en el desarrollo estructural y metalogénico del área de La Codosera.

El área de La Codosera, dentro de la Zona Centroibérica, está situada en el "dominio de pliegues subverticales" de Diez-Balda et al.(1990), el cual se caracteriza por el desarrollo de grandes áreas anticlinales, en cuyos núcleos afloran rocas graníticas y materiales del CEG, separados por estrechos sinclinales rellenos de materiales paleozoicos.

Han sido reconocidas varias fases de deformación hercínicas (Oen Ing Soen 1970, Diez-Balda et al.1977, Burg et al.1981, Diez-Balda 1986, Ortega 1988, Abalos 1989 etc.). Una primera, D1 que se caracteriza por el desarrollo de pliegues subverticales, de ejes subhorizontales de dirección WNW-ESE, y que lleva asociada una esquistosidad de plano axial muy penetrativa (S1). Estos pliegues, en la Zona Centroibérica, tienen vergencias N y NE y contienen lineaciones de intersección Ss/S1 subhorizontales. Una segunda fase D2, de importancia a escala local, concretamente en la mitad norte del dominio de pliegues subverticales, está frecuentemente relacionada con la formación de zonas de cizalla y fábricas S/C. Los pliegues generalmente tienen direcciones principales NW-SE y suelen presentar asociada una esquistosidad de crenulación S2.

Hacia el Sur del dominio de pliegues subverticales, cerca de la Zona de cizalla de Badajoz-Córdoba, la fase D1 no es coaxial (Burg et al.1981, Ortega 1988, Abalos 1989), se reconocen lineaciones de estiramiento (stretching lineations) y bandas "S" (shear bands) que desplazan de forma sinistral a la S1. La fase D2, también de dirección NW-SE, con una esquistosidad de crenulación asociada S2, se restringe a "corredores de cizalla" (ej. en la zona de Almadén, Ortega, 1988).

Pliegues relacionados con una tercera fase D3 no son muy frecuentes en el dominio de pliegues subverticales. Martin-Izard (1986) los reconoce al SW de Salamanca, con direcciones N-S y NNE-SSW, que repliegan estructuras D1 y D2 y producen una dispersión de lineaciones de las mismas, así como estructuras de interferencia. Esta fase tiene una menor representación en el área de La Codosera. Por el contrario, el desarrollo de kink-bands (kinking) y una intensa fracturación tardía (fallas tardías) son muy frecuentes en toda la Zona Centroibérica, y por su especial importancia en la zona de La Codosera será posteriormente estudiado con mayor detalle.

Respecto a la edad de la deformación hercínica, al Este de Almadén, sedimentos del Namuriense están afectados por la principal fase hercínica (Ortega 1988), mientras que estructuras de deformación D2 parece que deforman el batolito de los Pedroches (Burg et al.1981) el cual intruye en sedimentos del Viseense. Oen Ing Soen (1970) sugiere que la deformación es anterior al Westfaliense, e incluso puede ser superior (ej. las cuencas productivas de carbon, de edad Estefaniense, se formaron con posterioridad a la fase de deformación hercínica.

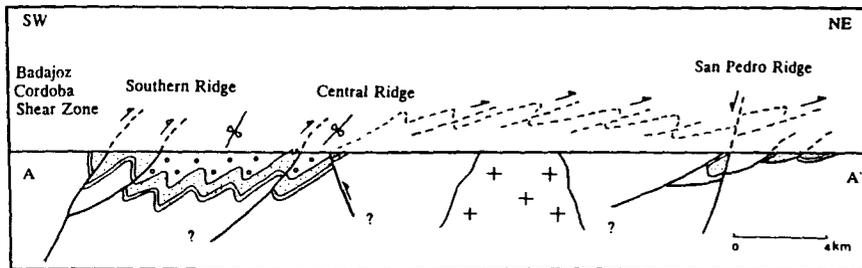
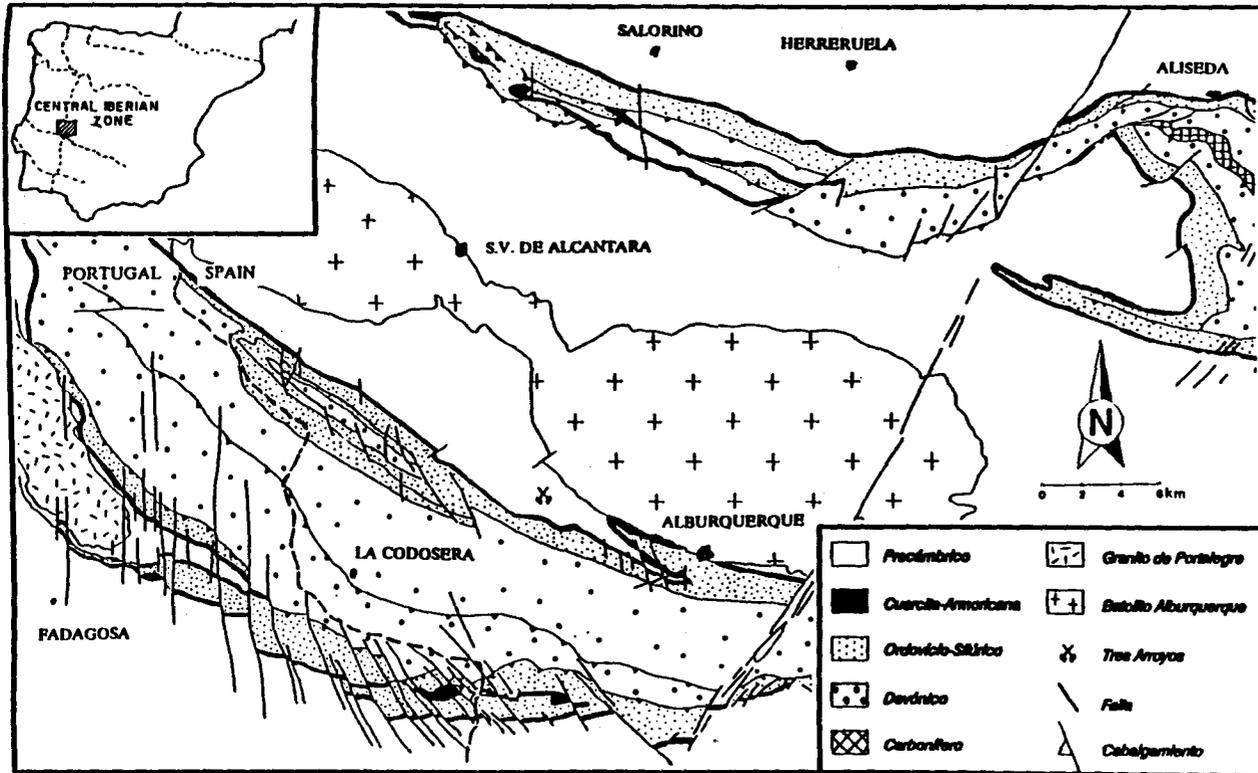
5.2.- Estructura del área de La Codosera

En el área de La Codosera, la fase dúctil de la deformación hercínica se manifiesta por el desarrollo de una primera fase D1 con pliegues fuertemente inclinados a subverticales, de eje subhorizontal y fuerte esquistosidad de plano axial subvertical. La segunda D2 con pliegues menos inclinados, asimétricos con esquistosidad de crenulación y una tercera D3, de menor representación, con pliegues subverticales de dirección N-S, también con esquistosidad de crenulación. Una importante fase de kinking y fracturación tardía afectó posteriormente a todos los materiales.

La importancia estructural de la zona de la Codosera estriba en su situación geotectónica especial, próxima a la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba. Por esta razón es posible observar cómo la deformación varía progresivamente de Norte a Sur. En la figura 5.1/2, queda patente el cambio en el estilo estructural desde pliegues y estructuras compresivas "cabalgamientos" (thrusts), con vergencia NNE, a estructuras de deformación propias de un régimen de cizalla, con fuerte componente en dirección (strike-slip), la cual aumenta con la proximidad a la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba. Los tres sinclinales de materiales paleozoicos (fig.5.1/1) que son La Sierra de San Pedro, el Sector Central (Jola) y el Sector Sur (La Tojera) realzan esta variación en el estilo estructural.

La Sierra de San Pedro está constituida por materiales plegados y se observan estructuras compresivas (cabalgamientos) que producen repeticiones en la serie y dan lugar a un complejo sinclinorio, cuyo flanco norte está formado por una secuencia de materiales paleozoicos fuertemente inclinados y más recientes hacia el Sur. El flanco sur se encuentra laminado (cabalgado hacia el Norte) por rocas del CEG que se sitúan por encima de la secuencia de rocas paleozoicas. El Sector Central (Jola) está formado por un estrecho y alargado sinclinorio en el que se reconocen apretados pliegues subverticales y con el desarrollo de fallas en dirección, subparalelas a los ejes de los

1) Esquema Geológico general del área



2) Sección NE-SW

3) Rotación de la Esquistosidad en bloque rotado (b).

(a) bloque no rotado. Contornos 1,2,4 y 8%

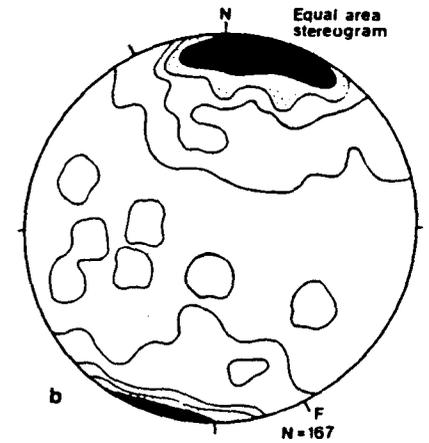
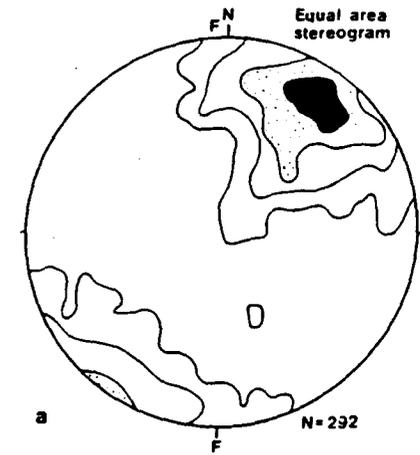


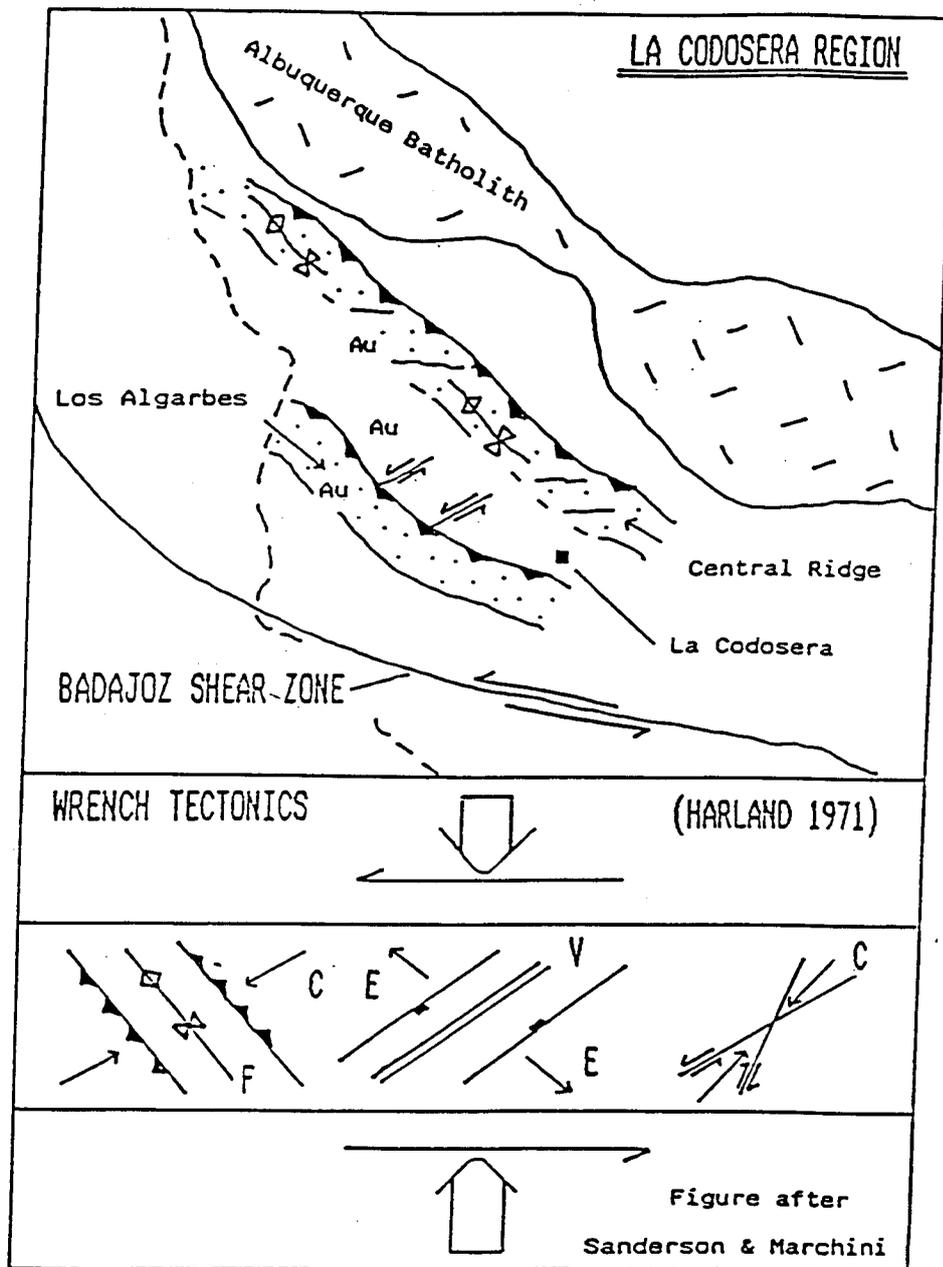
Fig.5.1- Esquema Geológico general del área de La Codosera

pliegues que cortan sus zonas de charnela. Estas fallas, por un lado, producen repeticiones en la serie estratigráfica (cabalgamientos) y por otro, tienen una fuerte componente en dirección (strike-slip). Varios conjuntos de kink-bands y crenulaciones tardías, las principales de dirección NNE, producen un replegamiento y variaciones locales de la esquistosidad, además de las variaciones debidas a deformaciones locales relacionadas con fallas.

El Sector Sur del Sinclinal de La Codosera representa la parte más deformada de los tres sectores y esto es debido a su proximidad con la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba. Está compuesto por rocas paleozoicas afectadas por fallas inversas (cabalgamientos) que ponen en contacto materiales precámbrico-cámbrico inferior (Fm. Urra) con materiales paleozoicos. Los pliegues (D2) tienen ejes con orientaciones variables, y se reconoce una importante lineación de estiramiento (stretching lineation) subhorizontal (L1), acompañada de shear-bands (crenulaciones extensivas) sinistral (Fig.5.18) que forman una fuerte fábrica S/C con la esquistosidad principal S1. Hay una constante oblicuidad entre direcciones de ejes de pliegues y cabalgamientos con la esquistosidad principal hercínica (S1), así como una disposición general de las estructuras compresivas a bajo y extensivas a alto ángulo con respecto al límite de la Zona de Cizalla (Fig.5.2), siendo observable una rotación progresiva en la dirección de la trayectoria de la esquistosidad S1, desde direcciones NW-SE en el Norte, hasta E-W en el Sur (Fig. 5.1/3). Los pliegues D2 son asimétricos, con flancos largos estirados y cortos cizallados, con una geometría en "S", marcando siempre un sentido de movimiento sinistral.

Además de los criterios cinemáticos que aportan las anteriores estructuras de deformación dúctil, existe un conjunto de estructuras de deformación frágil, principalmente fallas tardihercínicas de dirección entre N-S y NW-SE (Fig.5.1/1), de carácter extensional y con desplazamientos en dirección (laterales) de sentido dextral que afectan a las rocas paleozoicas del Sur del Sinclinal de La Codosera y son posteriores al emplazamiento del batolito de Albuquerque. Estas fallas que, han sido comprobadas en profundidad en el Mapa de anomalías de Bouguer que resultó de la gravimetría realizada en toda la zona (Campos y Gumiel 1990), presentan una geometría en "dominó" o "bookshelf" (Sanderson et al.1991). Un segundo conjunto de fallas, de dirección NE-SW, subparalelas a la falla de Plasencia, adquiere también gran importancia en la zona.

La existencia de suficientes criterios cinemáticos, junto con la geometría en "dominó" de las fallas tardihercínicas que desplazan, con sentido dextral, bloques de rocas paleozoicas del flanco sur del Sinclinal de La Codosera, ha sido interpretado como que el área ha estado sometida a efectos de cizallamiento dúctil y dúctil-frágil hercínico, con sentido sinistral, y cuyo efecto fué prolongado en el tiempo. En este esquema, las fallas tardihercínicas de dirección NW-SE y movimiento dextral que constituyen esa geometría en bloques (modelo "domino"), serían fallas antitéticas de la cizalla principal de dirección E-W y sentido sinistral. Este modelo, en el que se contempla un incremento de la componente en dirección (cizalla E-W, de sentido sinistral), acompañada de acortamiento hacia la Zona de Cizalla Badajoz-Córdoba, ha sido atribuído a un régimen de transpresión prolongada (Sanderson et al. 1991) hacia dicha Zona.



**Fig.5.2-Oblicuidad entre estructuras y Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba
Disposición de estructuras compresivas y extensivas en Transpresión
(Sanderson & Marchini, 1984)**

En definitiva, durante la Orogenia Hercínica en el Sur de la zona de La Codosera, los movimientos fueron principalmente trasferidos a través de la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba. La deformación fué no coaxial en estilo y con estructuras dominantes en dirección (strike-slip), en contraste con las estructuras de plegamiento y cabalgamientos vergentes hacia el N y NE del Norte de la zona (Sierra de San Pedro). El conjunto de la deformación tuvo lugar en un régimen transpresivo (Sanderson et al. 1991) y levantamientos asociados con la transpresión dieron lugar a estructuras en "flor" (flower structures, Ribeiro et al.1990) cuyas raíces estarían en la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba. Las relaciones geométricas espaciales y temporales de las estructuras en la zona de La Codosera, demuestran ese incremento progresivo en los efectos de cizallamiento hacia la Zona Principal de Cizalla (Badajoz-Córdoba). Las implicaciones metalogénicas del modelo, en particular de las estructuras de deformación frágiles (fallas antitéticas) que albergan gran parte de las manifestaciones auríferas del Sector Sur del Sinclinal de La Codosera serán discutidas posteriormente (Gumiel en prep.).

5.3.- Metodología y tratamiento de datos. Estadística esférica

Los datos de campo se tomaron como medidas de ángulo de buzamiento en la dirección de máximo buzamiento o azimut (dip direction), formato que facilita el tratamiento informático de los datos. Éstos se han introducido en los módulos Stereo y Rose del paquete Rockware, cuyos procedimientos de estadística esférica son de gran interés y se basan en el cálculo de los valores (E1,E2,E3) y vectores característicos (eigen) de la siguiente matriz de valores de cosenos de direcciones:

$$\begin{matrix} l^2 & lm & ln \\ ml & m^2 & mn \\ nl & nm & n^2 \end{matrix}$$

en la que las variables l, m y n representan respectivamente los valores de los cosenos de las direcciones para los ejes x(Norte), y(Este) y z(Vertical). Se obtienen los tres valores r1, r2 y K de la matriz, normalizados entre 0 y 1, que corresponden a: r1=ln(E1/E2), r2=ln(E2/E3) y K=r1/r2, siendo r1 el valor del eje vertical y r2 el del eje horizontal del diagrama de la figura 5.32 (pp.338 de Davis,1986).

Los diagramas de contornos y de densidad no se han construido mediante el contaje de los puntos proyectados en la falsilla estereográfica, sino utilizando un procedimiento de cálculo basado en una función exponencial gaussiana, con la que se calcula la densidad de puntos no en una superficie plana sino en la esfera. El valor asignado para cada punto viene definido por;

$$w = \exp (k(\cos q - 1))$$

donde q es el ángulo entre el punto y el "nodo" de una malla de referencia situada en la esfera, y k es una variable equivalente a un "radio de búsqueda" o un factor de "influencia". Se suele emplear un factor de influencia de 0.05. A menor valor, mayor radio de influencia en el contaje. Del mismo modo, a menor distancia entre punto y nodo de la malla (menor q), mayor valor de w y viceversa, (si el ángulo es 0, w es 1). Con este método de cálculo, aunque consume más tiempo, se promedian áreas de

influencia de cada punto, y cada "nodo" de la malla se incrementa en una cantidad proporcional a la distancia angular entre cada punto. Por consiguiente, los datos sobre densidad de puntos son mas realistas y tiene la ventaja de que las distribuciones de puntos muestran un sentido real espacial.

En los diagramas generales de polos de estratificación (S0) y de esquistosidad (S1) (Fig. 5.3), para el Sector Sur del Sinclinal de La Codosera, los polos de S0 y S1 se concentran en el cuadrante NE, con una dirección media de N130°E y buzamientos entre 55 y 60°SE. Los valores de los vectores eigen ($r_1=78.5$, $r_2=8.98$, $r_3=7.53$) suministran información sobre la distribución y uniformidad de los datos. Como sucede en este caso, si el primer valor eigen es mucho mayor que los otros dos, indica que los polos se concentran en una zona determinada de la esfera (cuadrante NE). Además, a tenor de la varianza esférica (dispersión en torno a la media), definida como;

$$R = ((\Sigma l)^2 + (\Sigma m)^2 + (\Sigma n)^2)^{1/2},$$

Rbar es el valor normalizado de R; $Rbar = R/n$, donde n = número de datos.

La varianza esférica viene definida como $VS = (n-R)/n$, es decir $1-Rbar$. En general, la varianza esférica variará entre 0 y 1. A medida que aumenta la dispersión de los vectores con respecto a la dirección media, también aumenta la varianza esférica.

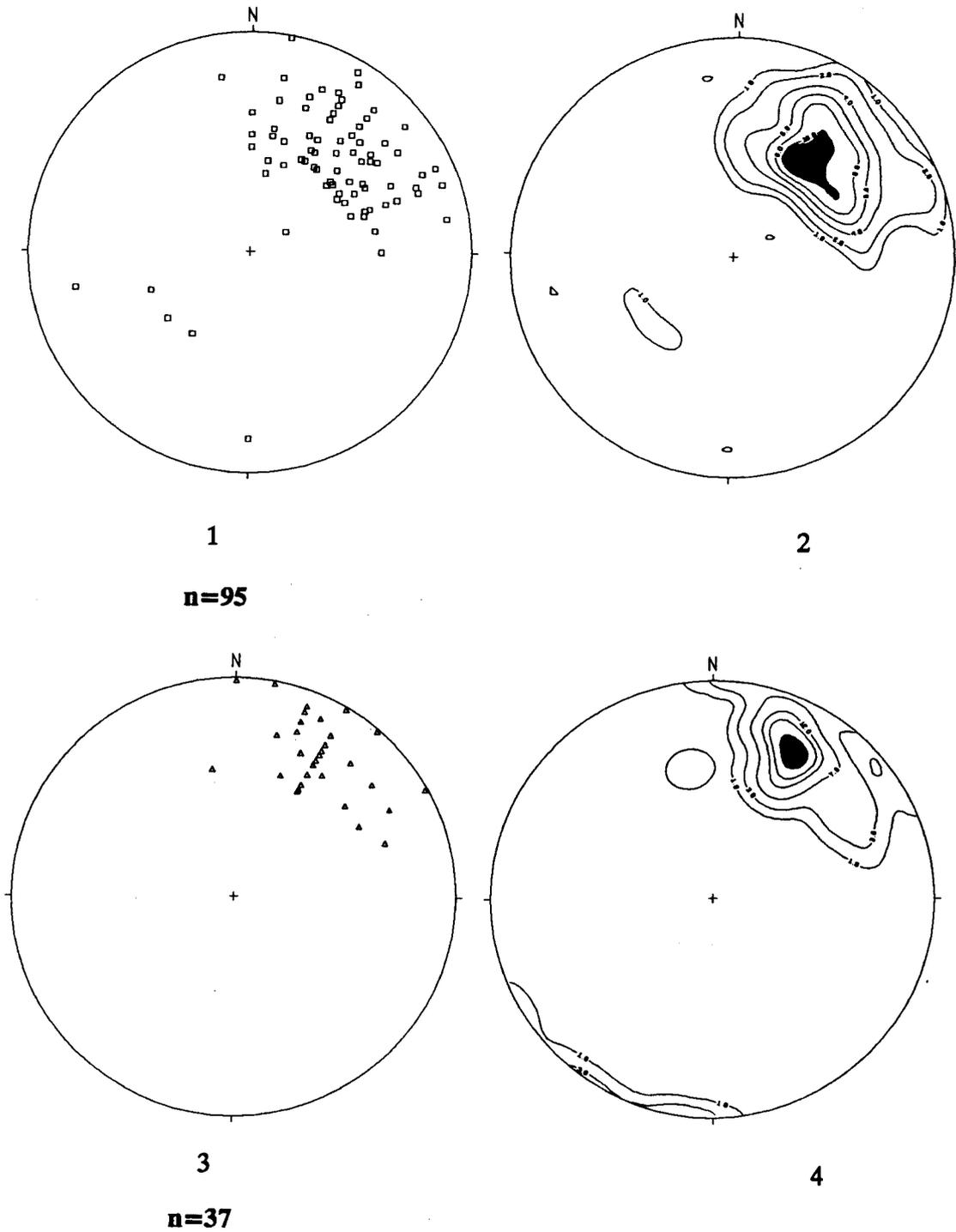
Se puede concluir que pequeños valores de la varianza esférica (0.12 y 0.05) señalan que la distribución de polos de S0 y S1 no es uniforme, concentrándose en una zona, con mas del 99% de confianza (nivel de significación 0.01%, obtenido a partir de los valores de Rbar entre 0.8 y 0.9). En estos diagramas no se aprecia la rotación de la esquistosidad de plano axial debido a que el Sector en donde se han tomado los datos no es un sector rotado y pertenece a la parte Oeste del Flanco Sur en torno a las áreas mineralizadas, y la rotación de la S1 hay que observarla a nivel regional, y comparando sectores rotados y no rotados, como en la figura 5.2.

En los **diagramas en rosa** de orientación de fracturas, el vector medio (ϕ) se obtiene de

$$\begin{aligned} X &= \Sigma \cos \phi_i \\ Y &= \Sigma \sin \phi_i \\ \phi &= \arctg(X/Y) \end{aligned}$$

donde ϕ_i son las medidas de azimuts de cada plano de fractura medido.

La resultante del vector medio $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$, normalizada entre 0 y 1, lo cual se hace dividiendo R por el número de datos, es Rmag y proporciona información sobre el grado de dispersión respecto a la media. Los conjuntos de datos que presenten fuerte dispersión de orientaciones con respecto a la media, tendran pequenos valores de Rmag (próximos a 0) y aquellos con poca dispersión tendran valores de Rmag próximos a 1.



1.- Polos de planos de estratificación (S0)

2.- Contornos:1,2,4,6,8 y 10%

3.- Polos de planos de esquistosidad (S1)

4.- Contornos: 1,3,7,12,15 y 19%

Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

**Fig.5.3 - Diagramas estructurales (Estratificación/Esquistosidad)
Sector Sur del Sinclinal de La Codosera**

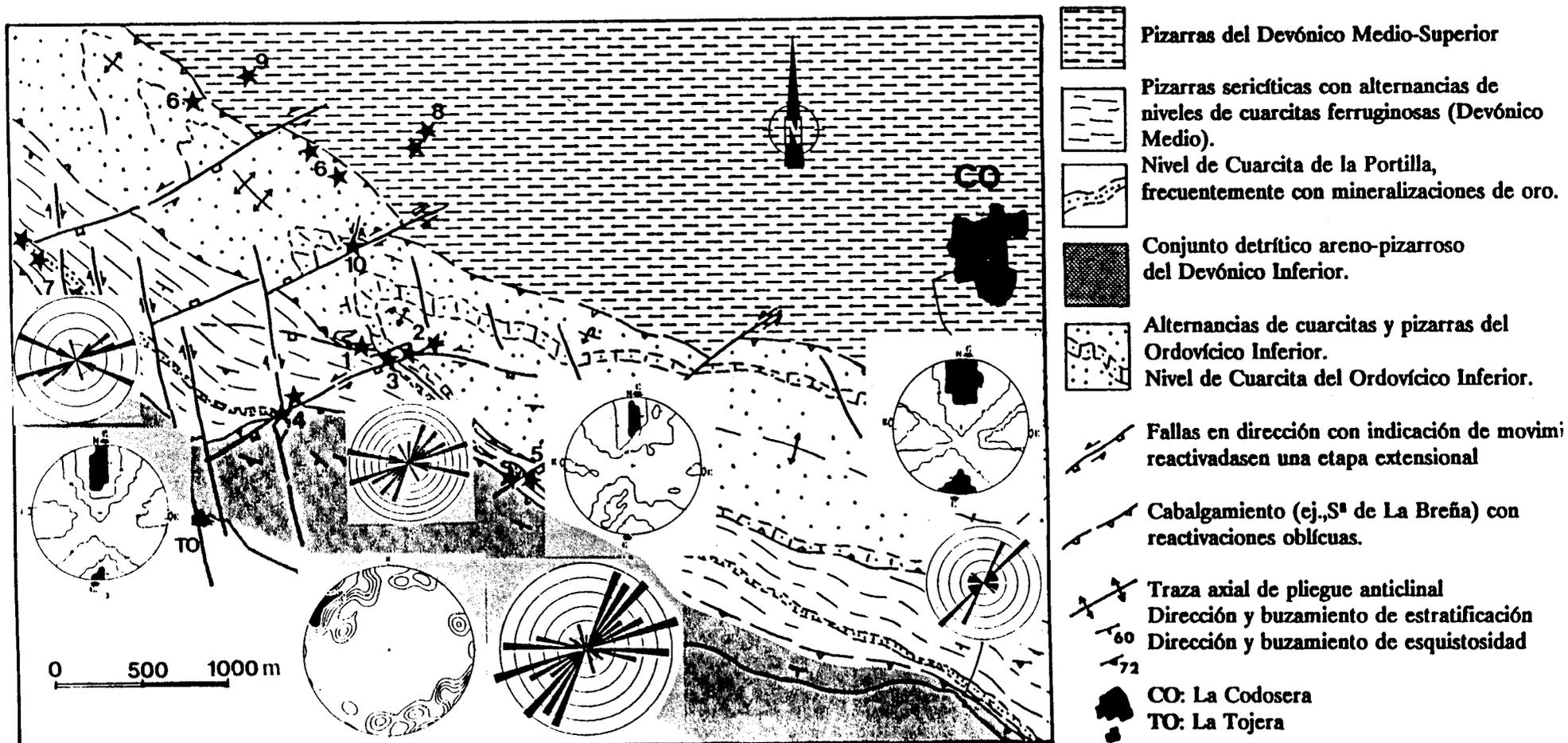
5.4.- Análisis de fallas tardihercínicas. Distribución de direcciones de fallas y fracturas

El análisis ha sido llevado a cabo mediante toma de medidas de planos de fallas y estrías en afloramientos y en las calicatas de exploración realizadas, dada la escasez de afloramientos en la zona. El área de estudio ha sido la zona de interés minero, por su posible potencial aurífero, del flanco sur del Sinclinal de La Codosera. Dicha zona se dividió en tres sectores: Occidental (Oeste de La Portilla), Central (área de Monteviejo) y Oriental (área de Chandavila, Fig.5.4/a -original en Volumen III-), y a continuación se presentan los principales resultados que se desprenden de este estudio.

El estudio de la distribución de direcciones y direcciones de buzamiento de los planos de fallas demuestra que la mayoría buzan subverticalmente (generalmente más de 60 grados).

En el Sector Oeste, La Portilla (Fig.5.5) la dirección más importante de fracturas es ENE-WSW (20%). El Vector medio es N78°E. La dispersión es elevada, como se desprende del valor de $R_{mag}=0.53$. En el Sector Central (Monteviejo) del flanco sur del Sinclinal de La Codosera hay una mayor dispersión de direcciones ($R_{mag}=0.42$), aunque también predominan las fallas de dirección NE-SW (15%), con un vector medio N61°E. Son también importantes las NE-SW (11%, Fig.5.6). En ambos sectores, la familia de fallas de dirección NW-SE, de gran importancia metalogénica y estructural en la estructuración general del área, tiene un 6 por ciento de abundancia. Por último, en el sector oriental del área, (Sector de Chandavila), las fracturas de dirección NE-SW predominan (20-25%), con un vector medio N49°E, aunque el resto de las familias de fracturas reconocidas también se observa (Fig.5.7), lo que hace que la dispersión sea considerable ($R_{mag}=0.49$). En los tres sectores definidos la distribución de orientaciones de fracturas por intervalos puede observarse en los histogramas correspondientes (Figs.5.5/4.,5.6/4 y 5.7/4).

La diferenciación entre fallas y fracturas se ha realizado, en base a que fallas son aquellas en las que se ha podido reconocer su plano en el campo y medir estrías cuando existían. Fracturas son aquellas que son direcciones preferentes (diaclasas en el campo, orientaciones en la fotografía aérea etc.) y no muestran sobre el terreno señales evidentes de movimiento. Como se puede observar (Figs.5.8, 5.9 y 5.10) hay una clara correspondencia entre orientaciones de fallas y fracturas, aunque predominan las fallas de dirección NE-SW (11%), con un vector medio N53°E frente a las fracturas E-W (20%). Las familias de fallas NW-SE (4-5%) y las WNW-ESE (8%) son también muy importantes desde el punto de vista estructural. La dispersión de orientaciones de fallas y fracturas es elevada y semejante, con un R_{mag} que oscila entre 0.43 y 0.47. La distribución de las familias de fallas y fracturas (Figs. 5.8/1-2, 5.9/1-2 y 5.10/1-2) es uniforme, como se corrobora por los pequeños valores de los vectores eigen ($r_1=0.67$, $r_2=0.24$ y $r_3=0.096$) y la varianza esférica en torno a 0.6. Por lo tanto, se puede afirmar, con un 99% de confianza (nivel de significación de 0.01%) que la distribución de orientaciones de fallas y fracturas es uniforme.

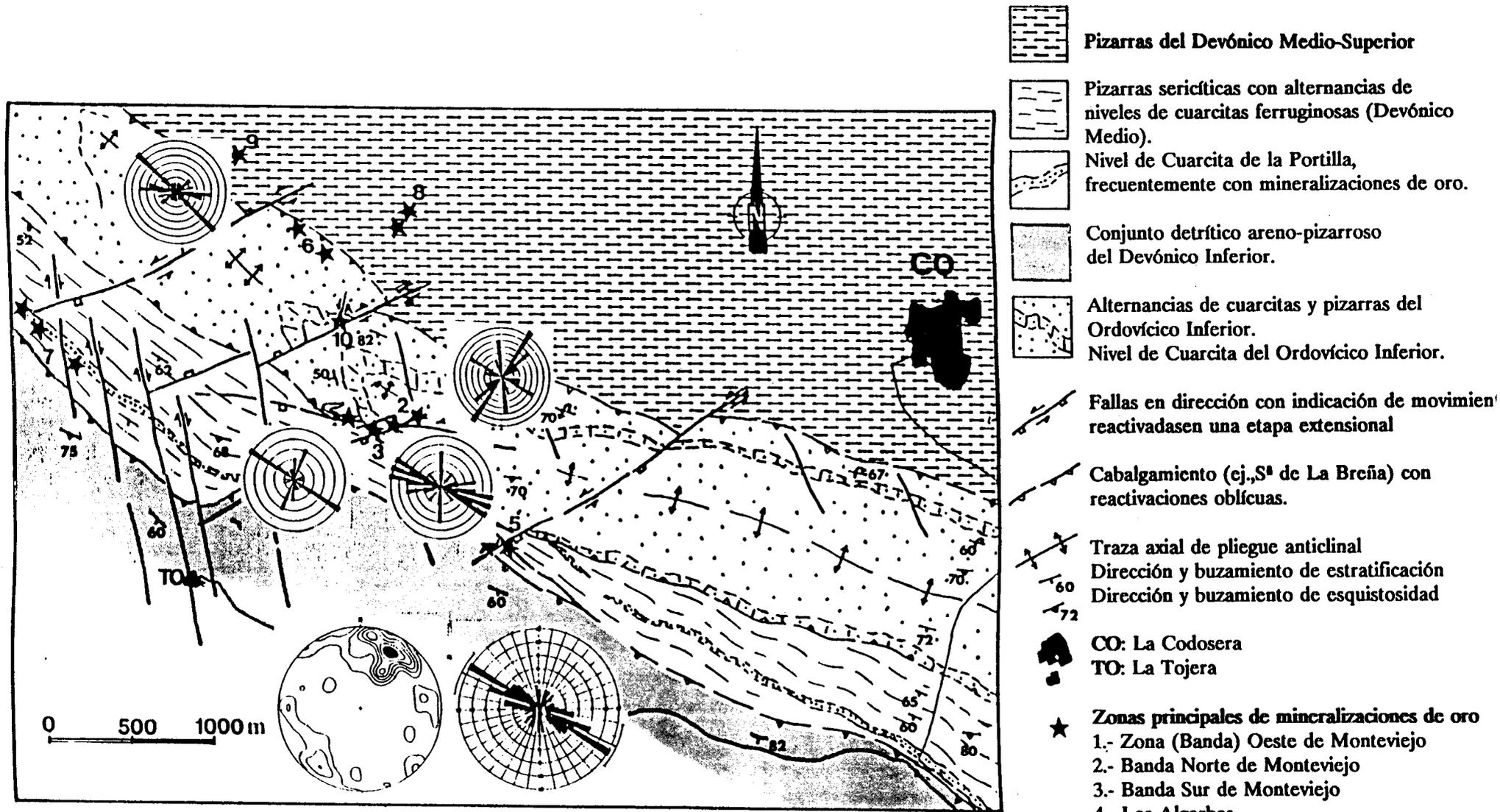


Diagramas en rosa por sectores. Contornos 1,2,3,4,6 y 7%. Hemisferio Inferior, Proyección equiareal de Schmidt. Diagramas PT -Método diédrico-

Zonas principales de mineralizaciones de oro

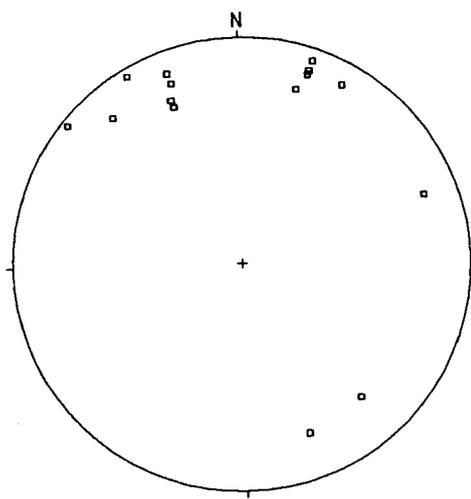
- 1.- Zona (Banda) Oeste de Montevejo
- 2.- Banda Norte de Montevejo
- 3.- Banda Sur de Montevejo
- 4.- Los Algarbes
- 5.- Casa de La Niña-Barrancones
- 6.- Indicios de la S^a de La Breña
- 7.- Indicios de la Portilla
- 8.- La Perla de Aníbal
- 9.- La Manzana de Oro
- 10.- La Portilla Larga

Fig.5.4/a.- Análisis sectorial de fallas tardihercínicas (Sector Occidental de La Portilla, Sector Central de Montevejo y Sector Oriental de Chandavila). Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera.



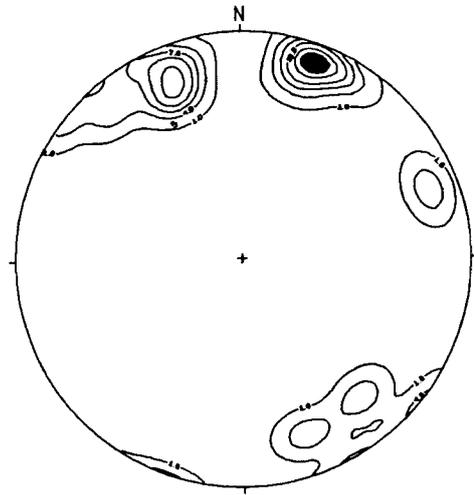
Diagramas en rosa por sectores y general (Vector medio 296 grados). Contornos 1,2,3,4,5 y 6%. Hemisferio Inferior, Proyección equiareal de Schmidt.

Fig.5.4/b.- Análisis sectorial de venas auríferas (Sector Occidental de La Portilla, Sector Central de Montevejo y Sector Oriental de Chandavila). Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera.

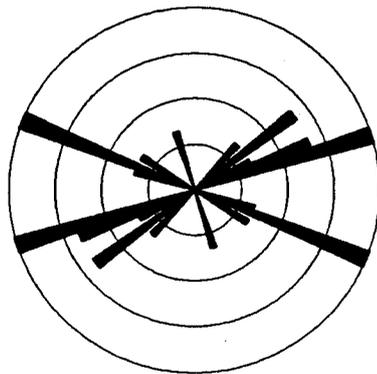


1

n=15

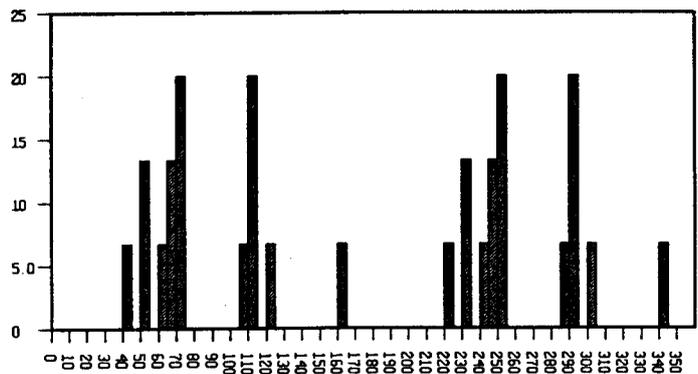


2



3

n=15



4

1.- Polos de fallas

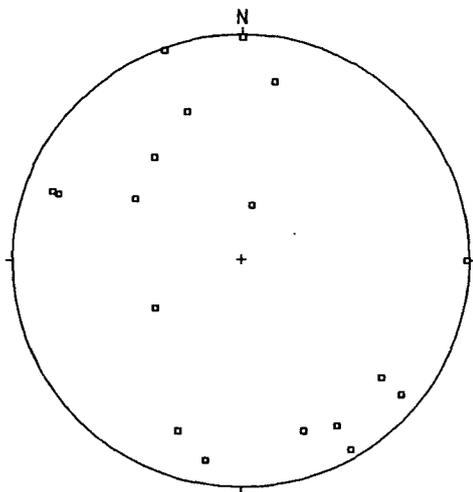
2.- Contornos:1, 4, 7, 10, 14 y 17 %

3.- Diagrama en Rosa (Vector medio 78.38 grados)

4.- Histograma de frecuencias (Intervalo de clase 5 grados)

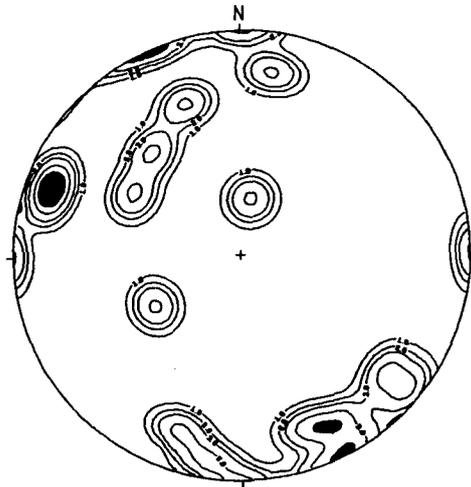
Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

Fig.5.5 - Diagramas de Fallas (Sector Occidental- La Portilla -)

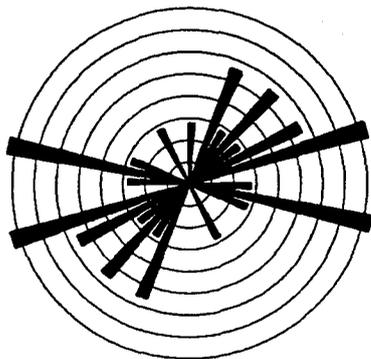


1

n=18

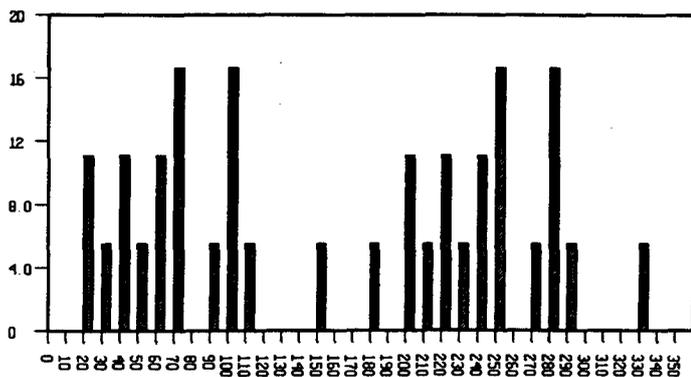


2



3

n=18



4

1.- Polos de fallas

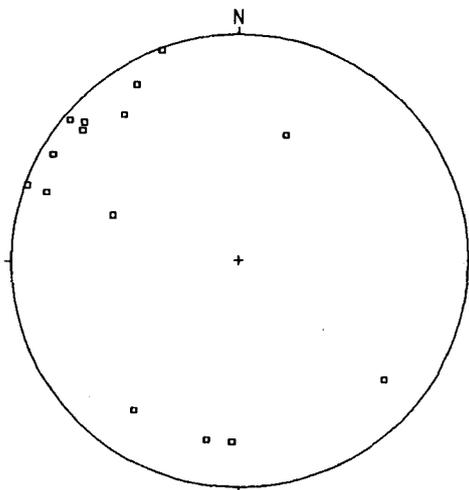
2.- Contornos: 1, 2, 3, 5 y 7 %

3.- Diagrama en Rosa (Vector medio 61.92 grados)

4.- Histograma de orientaciones (Intervalo de clase 5 grados)

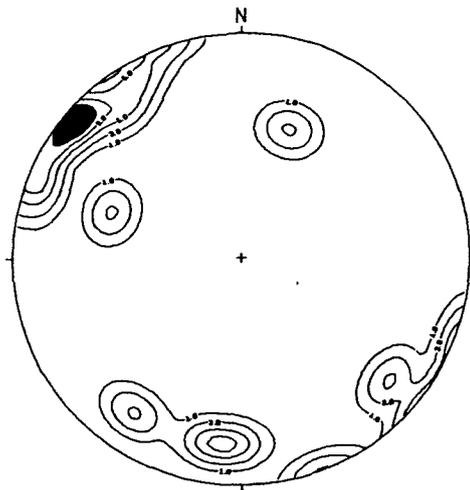
Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

Fig.5.6- Diagramas de Fallas (Sector Central- Monteviejo -)

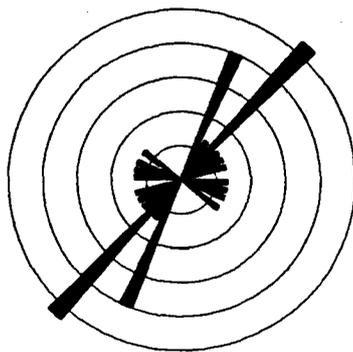


1

n=15

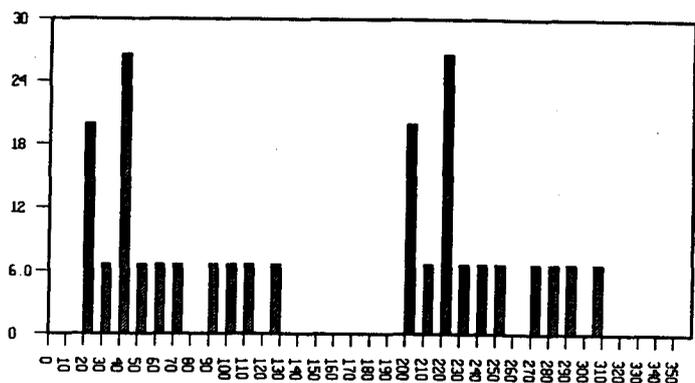


2



3

n=15



4

1.- Polos de fallas

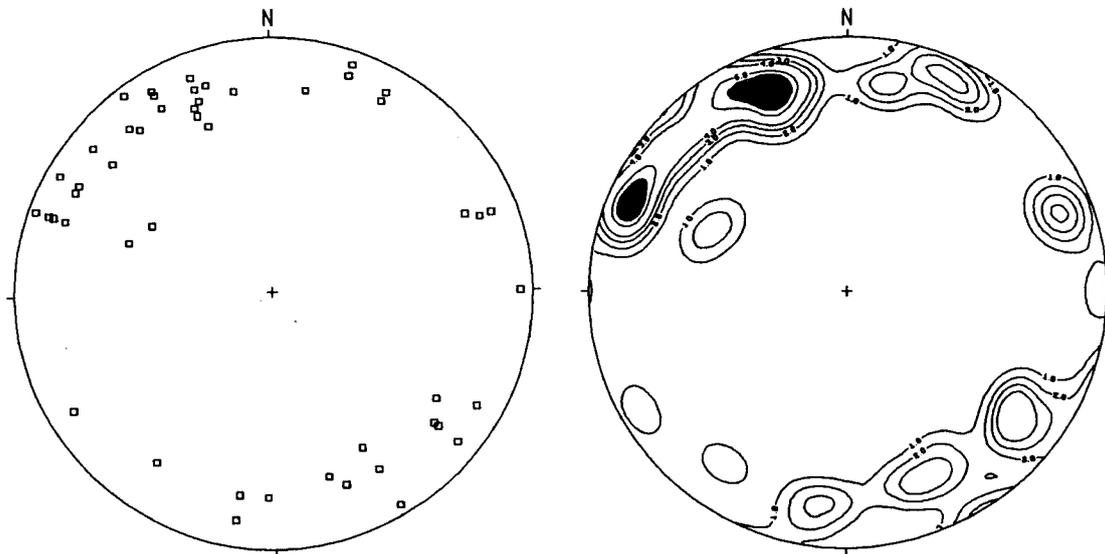
2.- Contornos: 1, 3, 6, 9 y 12 %

3.- Diagrama en Rosa (Vector medio 49.44 grados)

4.- Histograma de orientaciones (Intervalo de clase 5 grados)

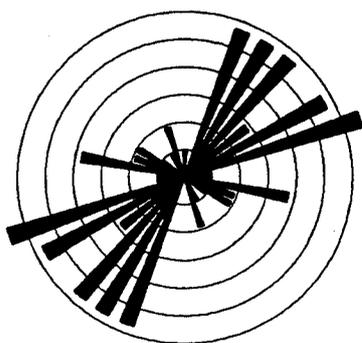
Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

Fig.5.7- Diagramas de Fallas (Sector Este - Chandavila -)

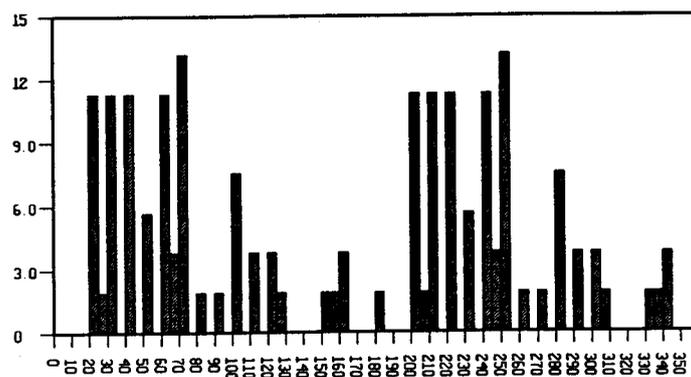


1
n=53

2



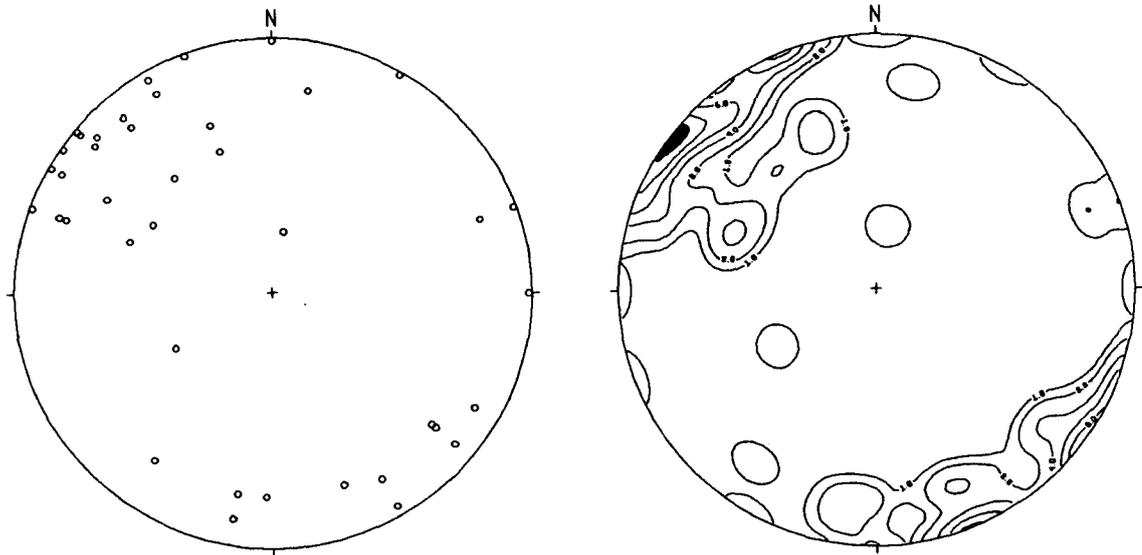
3
n=53



4

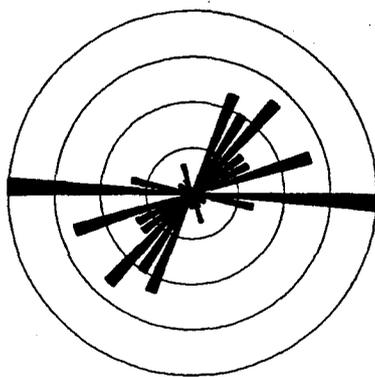
- 1.- Polos de fallas
 - 2.- Contornos: 1, 2, 3, 4, 6 y 7 %
 - 3.- Diagrama en Rosa (Vector medio 53.39 grados)
 - 4.- Histograma de orientaciones (Intervalo de clase 5 grados)
- Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

Fig.5.8- Diagramas de Fallas (con estrías). Sector Sur (Sinc. de La Codosera)

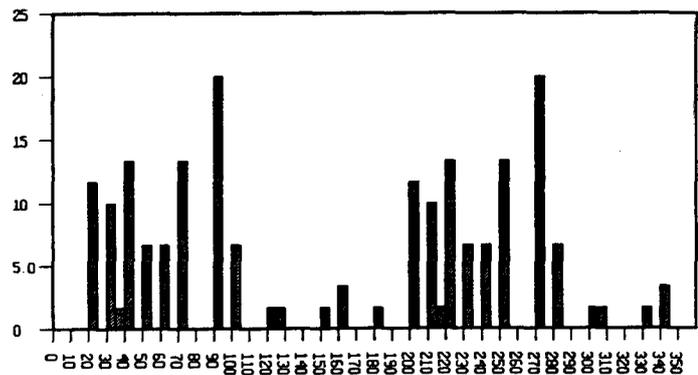


1
n=50

2



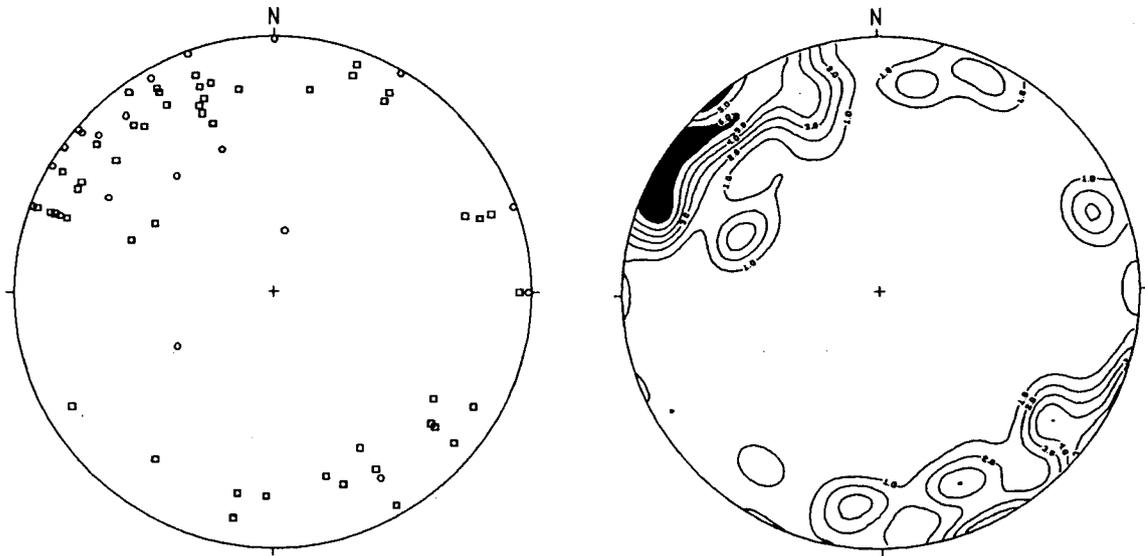
3
n=50



4

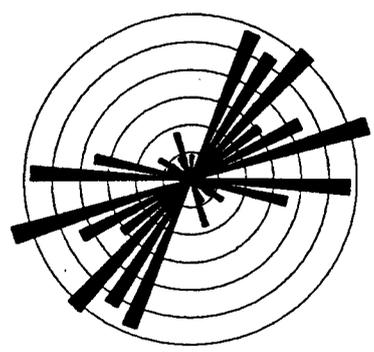
- 1.- Polos de fracturas
 - 2.- Contornos: 1, 2, 4, 6, 8 y 10 %
 - 3.- Diagrama en Rosa (Vector medio 57.86 grados)
 - 4.- Histograma de orientaciones (Intervalo de clase 5 grados)
- Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

Fig.5.9- Diagramas de Fracturas. Sector Sur (Sinclinal de La Codosera)

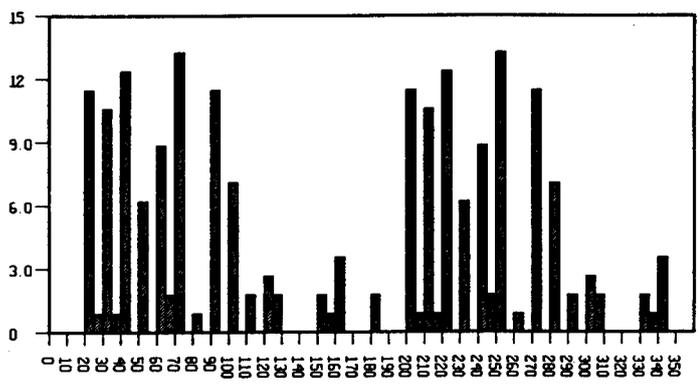


1
n=103

2



3
n=103



4

- 1.- Polos de fallas
 - 2.- Contornos: 1, 2, 3, 4, 5 y 6 %
 - 3.- Diagrama en Rosa (Vector medio 55.88 grados)
 - 4.- Histograma de orientaciones (Intervalo de clase 5 grados)
- Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

Fig.5.10- Diagramas de Fallas y Fracturas. Flanco Sur, Sinclinal de La Codosera

5.5.- Análisis de venas de cuarzo auríferas

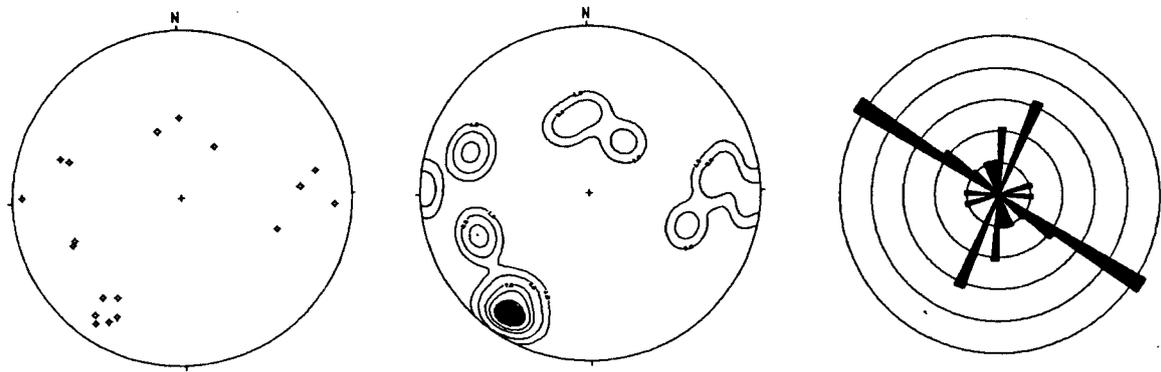
Dada la escasez de buenos afloramientos en la zona, se han aprovechado las calicatas de exploración realizadas por INGEMISA en el Proyecto del ITGE: "Continuación de la Prospección y Exploración de oro en el área de La Codosera", para obtener datos sobre orientaciones y caracterización de venas de cuarzo auríferas. La figura 5.4/b muestra una comparación general entre orientaciones de venas por sectores. En detalle, se han obtenido los siguientes resultados:

En el sector occidental de la Portilla (calicata CAL-70, Fig.5.11/1,2,3 y 7) la orientación predominante de venas de cuarzo mineralizadas es NW-SE (25%), con un vector medio de dirección 327 grados. Venas mineralizadas de dirección NE-SW son también importantes (15%). Por consiguiente, el grado de dispersión es notable con un valor de $R_{mag}=0.38$.

En el sector central de Monteviejo (calicatas CAL-24 y CAL-74, Figs. 5.11/4,5,6,8 y 5.12/1,2,3 y 7 respectivamente), predominan orientaciones de venas auríferas de direcciones WNW-ESE (vector medio de dirección 284 grados) y menor dispersión ($R_{mag}=0.56$) en la calicata CAL-24, y por el contrario mayor dispersión de orientaciones en la calicata CAL-74 ($R_{mag}=0.24$), con venas de dirección principal NE-SW (>15%) y otras de dirección WNW-ESE(300°,12%) y NW-SE(340-350°,12%). La diferenciación de dos sistemas de venas mineralizadas dentro del grupo de las NW-SE tiene gran importancia metalogénica y concuerda con el modelo estructural de tectónica en "dominó" o "bookshelf" que posteriormente se analizará.

Las venas mineralizadas de la calicata CAL-89 (Fig.5.12/4,5,6 y 8), situada cerca de la Sierra de La Breña (Fig.5.13), presentan una orientación predominante NW-SE (14%) aunque hay bastante dispersión de orientaciones ($R_{mag}=0.37$) pero los restantes grupos de venas son minoritarios (< 6%). El vector medio tiene una orientación de 286 grados.

Del diagrama general de venas auríferas (Fig.5.14) se deduce que, aunque existe una fuerte dispersión de orientación de venas ($R_{mag}=0.38$) y su distribución es uniforme, como se pone de manifiesto porque los tres valores eigen son pequeños y de la misma magnitud ($r_1=0.59$, $r_2=0.26$, $r_3=0.14$, varianza esférica= 0.52, Anexo 1, Volumen II), existe un máximo (> 5%) en el diagrama de contornos (Fig. 5.14/2) que corresponde claramente con la orientación preferente WNW-ESE,(12%) situándose el vector medio en una dirección próxima a los 300 grados (296°,Fig. 5.14/3 y 4). Las implicaciones metalogénicas de esta dirección "preferente" se discutirán posteriormente en el modelo estructural.

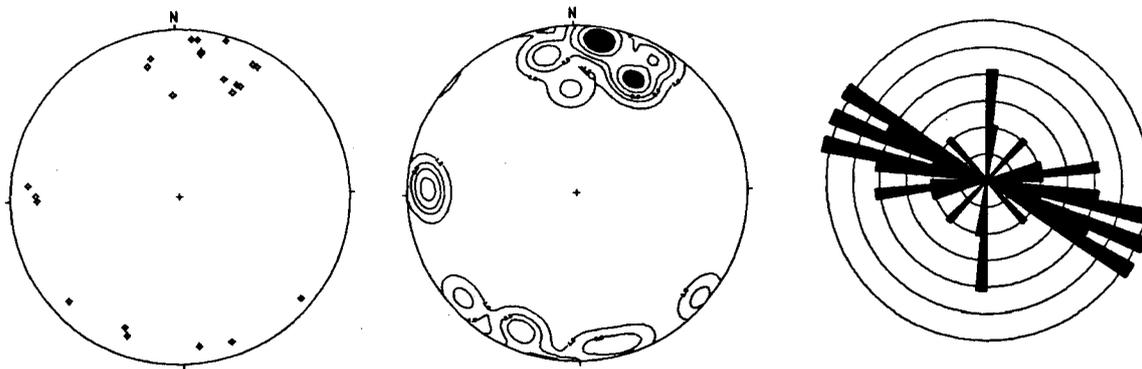


1

2

3

n=19

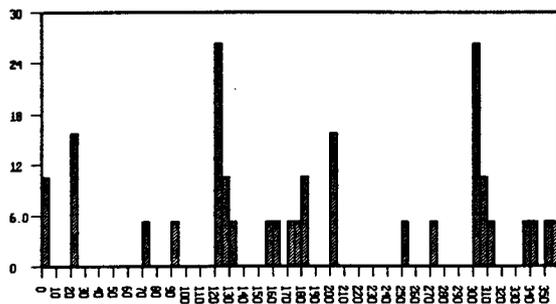


4

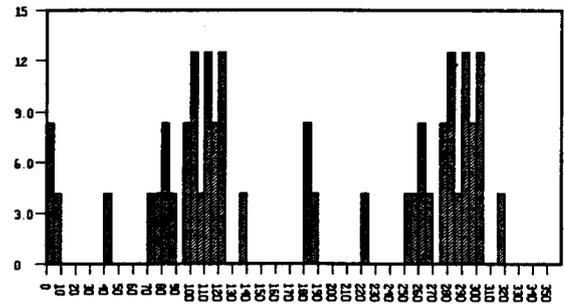
5

6

n=24



7



8

1, 2, 3 y 7.- Calicata (CAL-70) & 4, 5, 6 y 8.- Calicata (CAL-24)

1 y 4.- Polos de venas de cuarzo auríferas

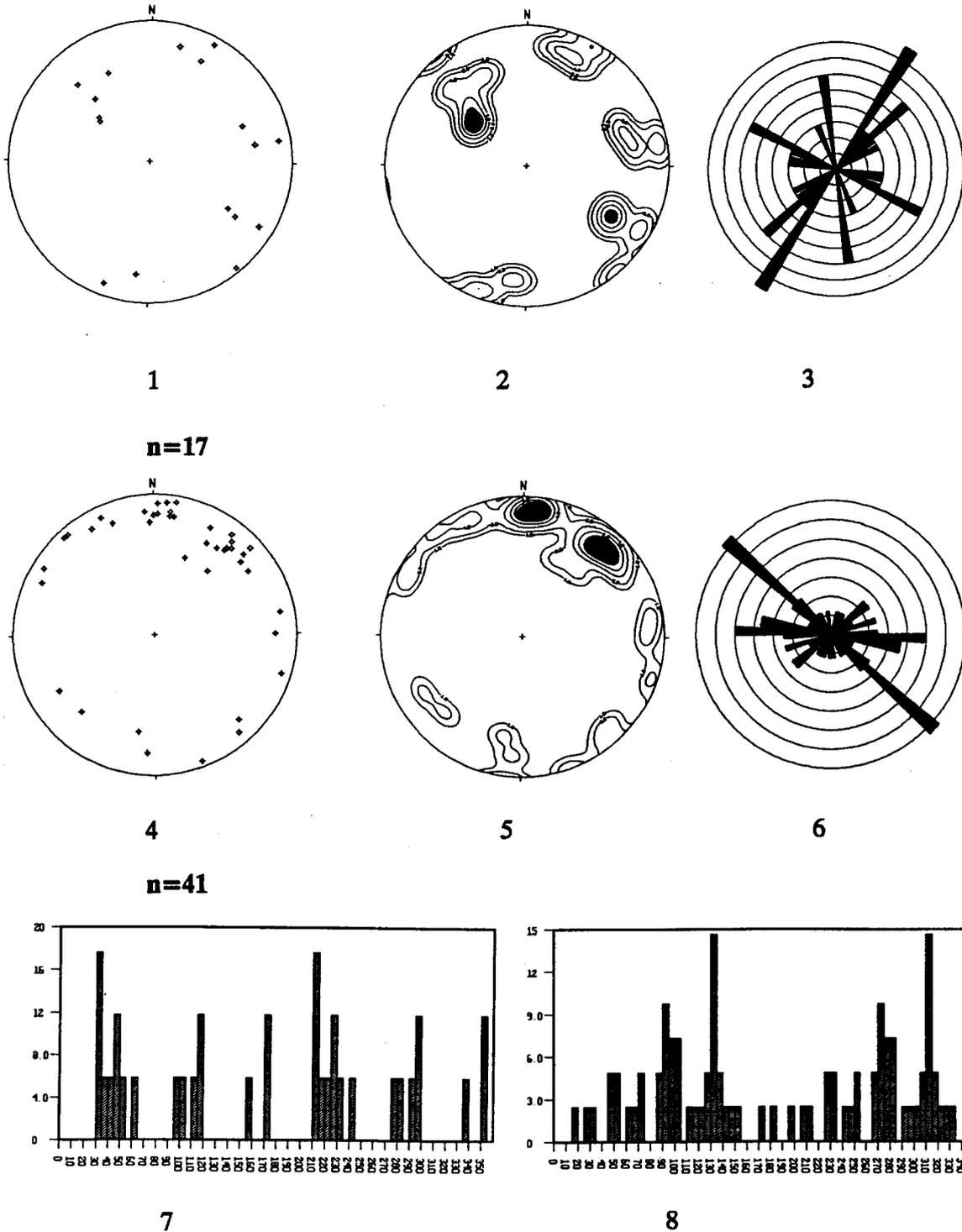
2 y 5.- Contornos: 1, 3, 7, 10 y 14 % & 1, 3, 5, 8 y 11% respectivamente

3 y 6.- Diagramas en Rosa (Vectores medios 327.51 y 284.78 grados respectiv.)

7 y 8.- Histogramas de orientaciones (Intervalo de clase 5 grados)

Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

Fig.5.11-Diagramas de Venas de cuarzo auríferas en calicatas. Sur de La Codosera



1, 2, 3 y 7.- Calicata (CAL-74) & 4, 5, 6 y 8.- Calicata (CAL-89)

1 y 4.- Polos de venas de cuarzo auríferas

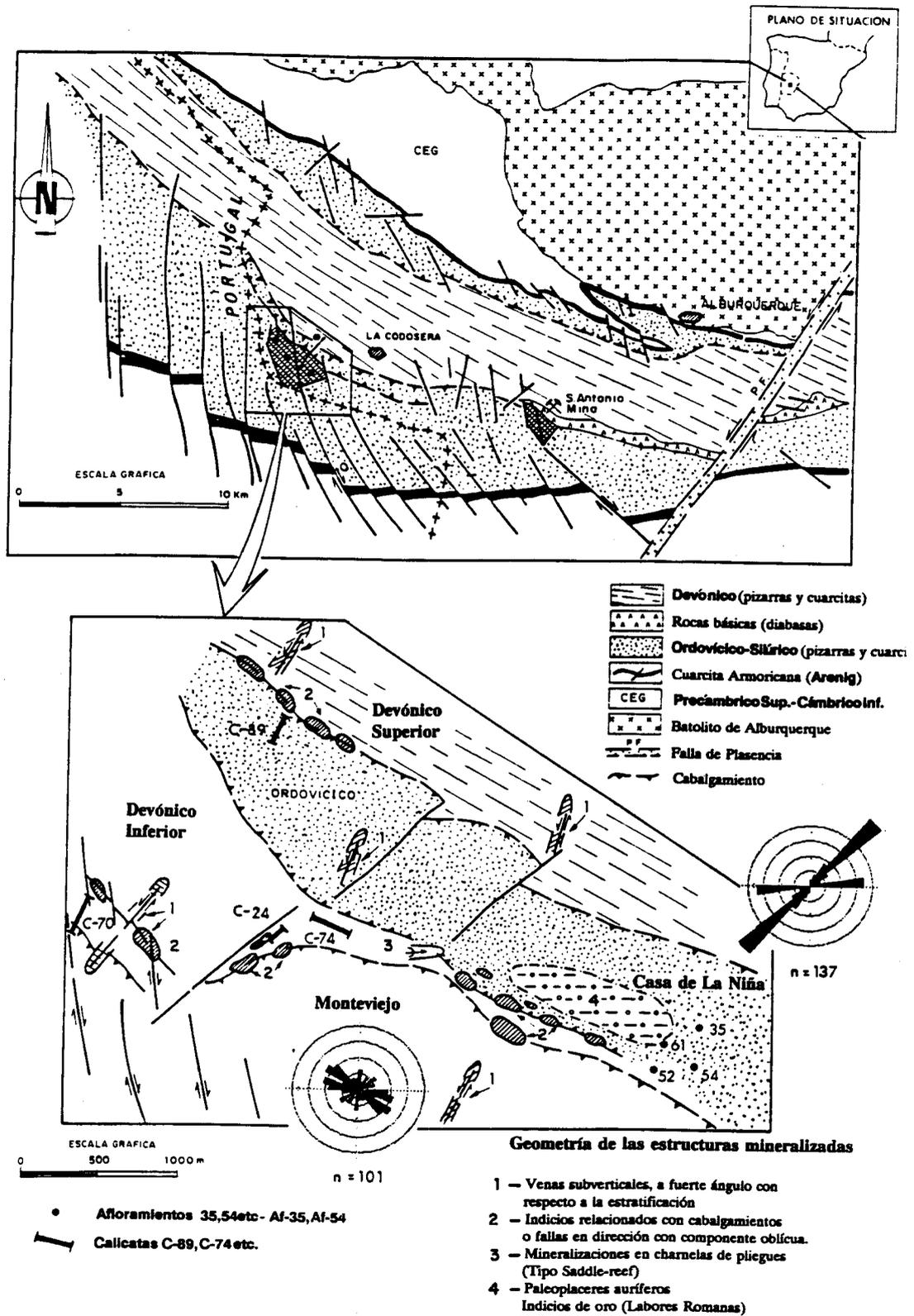
2 y 5.- Contornos: 1, 2, 4, 6 y 8 % & 1, 2, 4, 6 y 8 % respectivamente

3 y 6.- Diagramas en Rosa (Vectores medios 46.97 y 285.94 grados respectiv.)

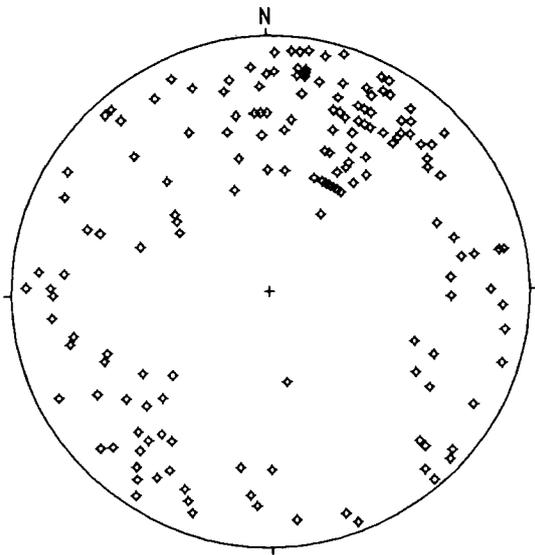
7 y 8.- Histogramas de orientaciones (Intervalo de clase 5 grados)

Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

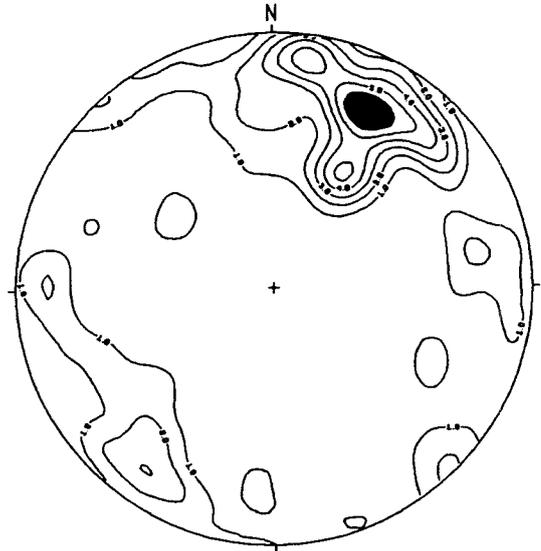
Fig.5.12-Diagramas de Venas de cuarzo auríferas en calicatas. Sur de La Codosera



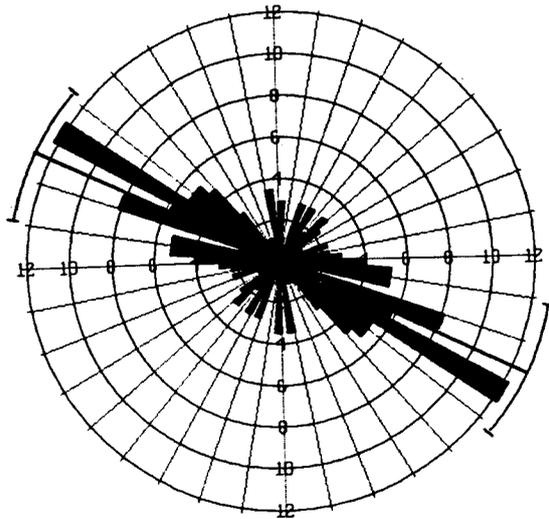
**Fig.5.13-Eschema Geológico del Sector Central del Sinclinal de La Codosera.
Situación de calicatas en donde se midieron venas mineralizadas**



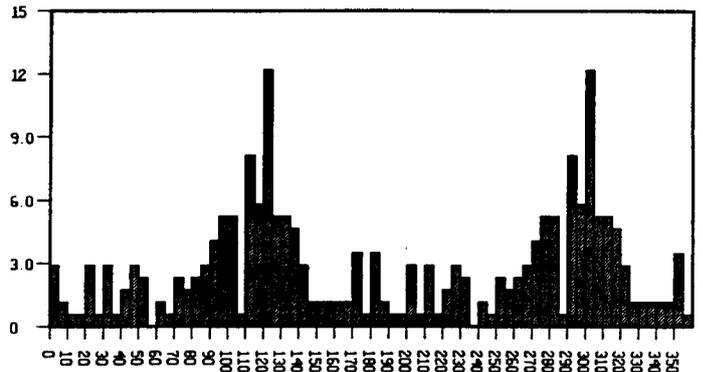
1
n=172



2



3
n=172



4

- 1.- Polos de venas de cuarzo auríferas
 - 2.- Contornos: 1, 2, 3, 4, 5 y 6 %
 - 3.- Diagrama en Rosa (Vector medio 296.15 grados)
 - 4.- Histograma de orientaciones (Intervalo de clase 5 grados)
- Proyección Equiareal (Schmidt, Hemisferio Inferior)

Fig.5.14- Diagrama general de venas auríferas. Sur del Sinclinal de La Codosera

5.6.- Geometría y cinemática de las fallas.

La mayoría de las fallas buzcan subverticalmente (generalmente más de 60 grados). Por el contrario, los cabeceos (pitch) de las lineaciones de estrías en los planos de fallas son subhorizontales (generalmente, menos de 10 grados). Por consiguiente, la mayoría de las fallas son en dirección, o tienen una componente principal, muy importante, en dirección (strike-slip), siendo las direcciones de las lineaciones de estrías subparalelas a las direcciones de las fallas.

Esto puede observarse también por la situación de los puntos próxima al círculo en los diagramas de "Componentes de desplazamiento de fallas" de Angelier, 1984,(Fig.5.15). En estos diagramas, que son muy útiles por la información que suministran sobre la cinemática de las fallas, se representa la distribución de la componente horizontal del desplazamiento neto (transversal) versus desplazamiento en dirección (lateral). Los puntos se proyectan en un círculo porque la suma de los tres vectores que representan las componentes del desplazamiento (horizontal, vertical y transversal) son iguales al vector desplazamiento neto. Las letras en los cuadrantes son: N (fallas Normales), R (fallas inversas), S (movimiento sinistral) y D (movimiento dextral).

5.7.- Aplicación del Método Diédrico al estudio de fallas tardihercénicas

Como consecuencia de la importancia que tienen las fallas tardihercénicas en el control estructural de las mineralizaciones auríferas, se ha pretendido llegar a conocer mejor la cinemática de dichas fallas con objeto de intentar obtener criterios de exploración basados en dichos conocimientos. Una primera aproximación al estudio estadístico de poblaciones de fallas, que aparentemente ofrece una solución simple para la obtención aproximada de la orientación de los ejes de esfuerzo, es el método de los diedros rectos (PT, o diédrico) de Angelier y Mechler (1977). La aplicación de este método a fallas recientes y en estudios sismológicos está muy generalizada, pero en el caso de fallas antiguas con reactivaciones, puestas de manifiesto mediante diferentes generaciones de estrías, tal es el caso del área de La Codosera (ejemplo en el indicio de La Portilla Larga), su uso debe hacerse con cautela. No obstante, los resultados obtenidos son congruentes con otras observaciones de tipo estructural, y su interés es que al menos para el conjunto de fallas tardihercénicas estudiadas, se puede tener una idea de las áreas que han estado sometidas a compresión o a extensión. Por otra parte, el hecho de que determinadas estructuras filonianas mineralizadas en oro aprovechen algunas de estas direcciones de fractura tardihercénicas, supone que cualquier idea de orientación de áreas sometidas a compresión o extensión puede tener un interés en la exploración de determinadas estructuras favorables.

Los diagramas obtenidos de aplicar el método diédrico a 53 fallas estudiadas (Figs 5.4/a y 5.16) - este número de fallas es debido a las malas condiciones de afloramientos en la zona - ponen de manifiesto que el σ_1 tiene una orientación

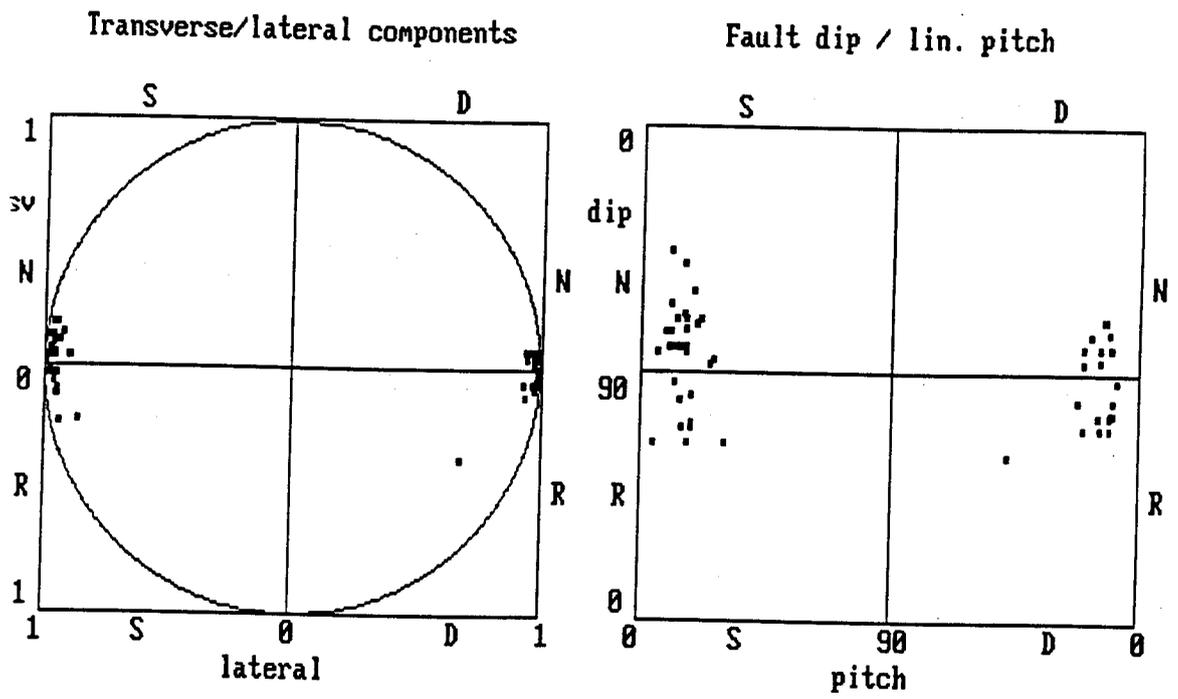
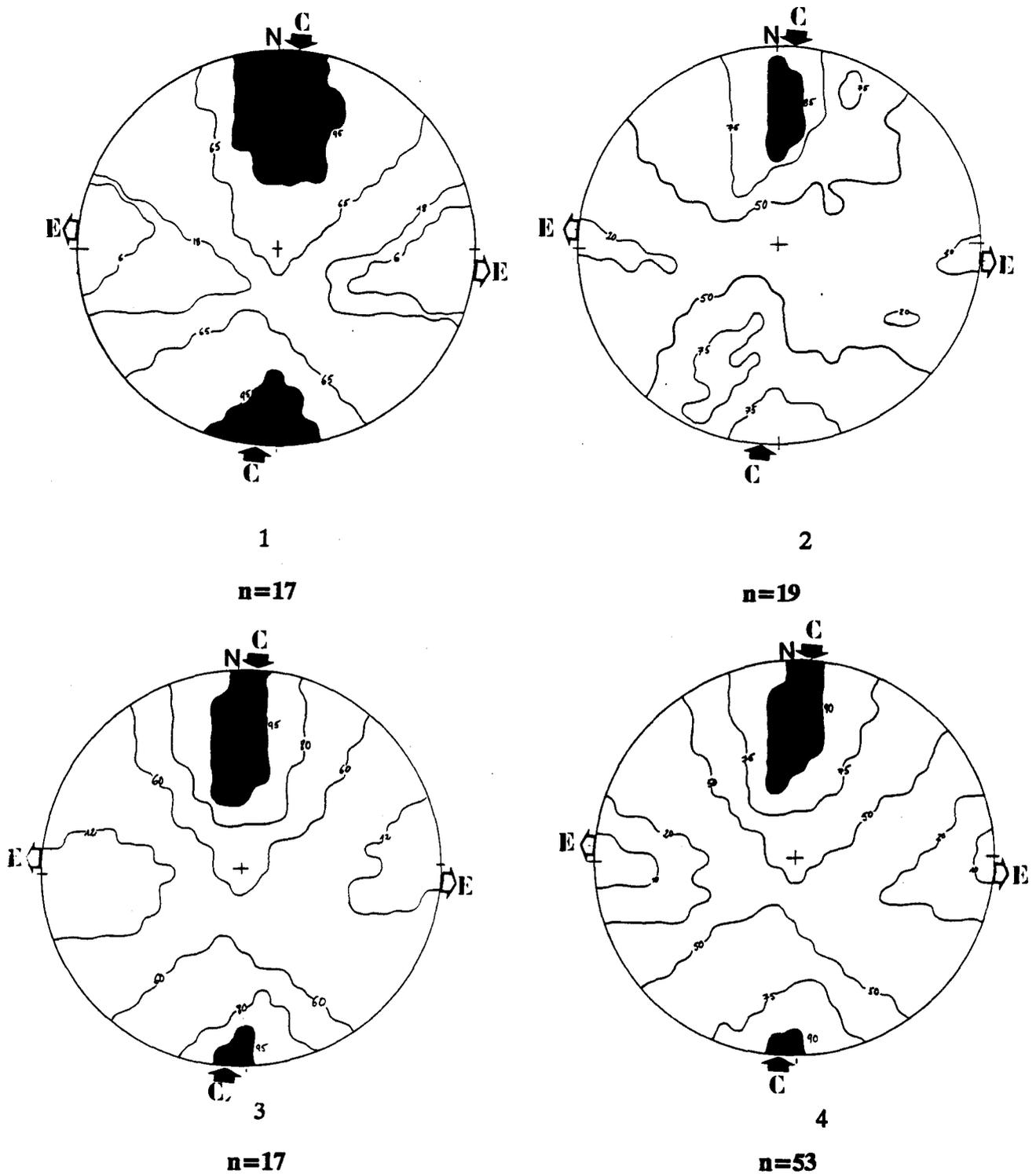


Fig.5.15- Diagrama de Componentes de desplazamiento de fallas (Angelier,1984)
 53 fallas del área de La Codosera



- 1.- Sector occidental (Portilla). Curvas 6, 8, 65 y 95 %
- 2.- Sector Central (Monteviejo) Curvas 20, 50, 75 y 85 %
- 3.- Sector Oriental (Chandavila) Curvas 12, 60, 80 y 95 %
- 4.- General (Flanco Sur) Curvas 10, 20, 50, 75 y 90 %

Movimientos de fallas compatibles con un eje de Compresión C (N-S)

Fig.5.16- Diagramas de Diedros Rectos (PT), Sur del Sinclinal de La Codosera

aproximada N-S (aproximadamente 005) y el σ_3 E-W (aproximadamente 95°E) y ambos subhorizontales, lo cual es característico de regímenes de fuerte componente horizontal, en dirección (strike-slip). El que la zona esté sometida a Compresión N-S y Extensión E-W, como se puede observar a partir de las fallas tardihercínicas (NW-SE dexas y NE-SW sinistral), es congruente con la interpretación de Arthaud y Matte (1975), Ribeiro et al. (1990) para otras áreas del Macizo Hespérico, en un estado muy evolucionado (tardihercínico) del Orógeno Hercínico.

5.8.- Aplicación del Método Y-R para el cálculo de los Tensores de esfuerzo

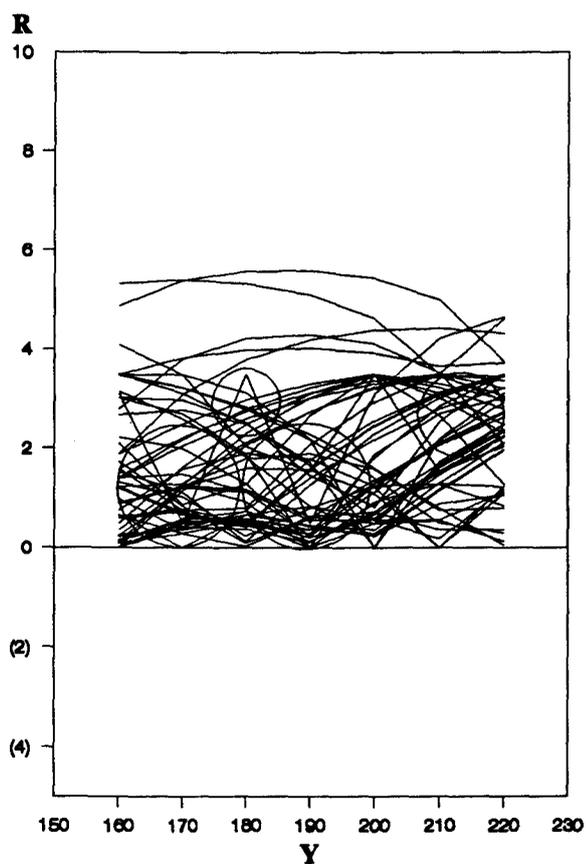
A partir del método diédrico, se ha delimitado un intervalo desde 340° a 030°, en el cual el eje σ_1 (esfuerzo máximo horizontal) es compatible con los movimientos de las fallas. Pero el coeficiente R no se conoce. A partir de las observaciones en algunos planos de falla (ejemplo en la Portilla Larga), donde se observan varias generaciones de estrías superpuestas que señalan reactivaciones, un simple tensor de esfuerzos no puede explicar la cinemática del conjunto de las fallas. Por esta razón, se ha aplicado el método Y-R de Simón Gómez (1986) al conjunto de fallas estudiadas del área de La Codosera, intentando investigar el problema inverso de interpretación de esfuerzos, a partir de datos de poblaciones de fallas.

Si uno de los ejes es vertical, solamente hay que considerar dos variables para la definición del tensor de esfuerzo: Y (azimut del eje de máximo esfuerzo horizontal) y la relación R. Las fallas se pueden representar en un sistema de coordenadas Y-R (Fig.5.17) y cada curva representa las posibles combinaciones Y-R que explican el movimiento de una falla. Los puntos de intersección ("knots", entre círculos) de varias curvas serían tensores óptimos. El diagrama (Fig.5.17) contiene los posibles tensores de esfuerzo, que estarían en los siguientes intervalos; N160-175°, N175-185°, N185-205° y 205°-220°.

5.9.- Modelo Dominó (Bookshelf). Geometría e implicaciones en el control estructural de las mineralizaciones auríferas

El mecanismo en "dominó" (bookshelf), de rotación de bloques entre fallas, es un fenómeno común en regímenes tectónicos de deslizamiento en dirección (wrench zones, Mac Donald 1980, Mandl 1987), y se trata de un mecanismo eficiente para acomodar importantes rotaciones en torno a ejes verticales (Garfunkel & Ron 1985, Nur et al. 1986).

En el área de La Codosera, la deformación tardihercínica produjo un conjunto de fallas de orientación N-S a NW-SE que son antitéticas de la cizalla sinistral E-W de La Codosera y que configuran una geometría en "dominó" (bookshelf) clásica (Figs.5.1, 5.13 y 5.18). Estas fallas, posteriores a las estructuras hercínicas y al granito de Alburquerque, cuando tienen direcciones N-S muestran poco desplazamiento lateral de las capas. Este desplazamiento, de carácter dextrógiro, aumenta considerablemente



Area Completa (Flanco Sur)

n=53

Fig.5.17-Diagrama Y-R para fallas tardihercínicas del área de La Codosera

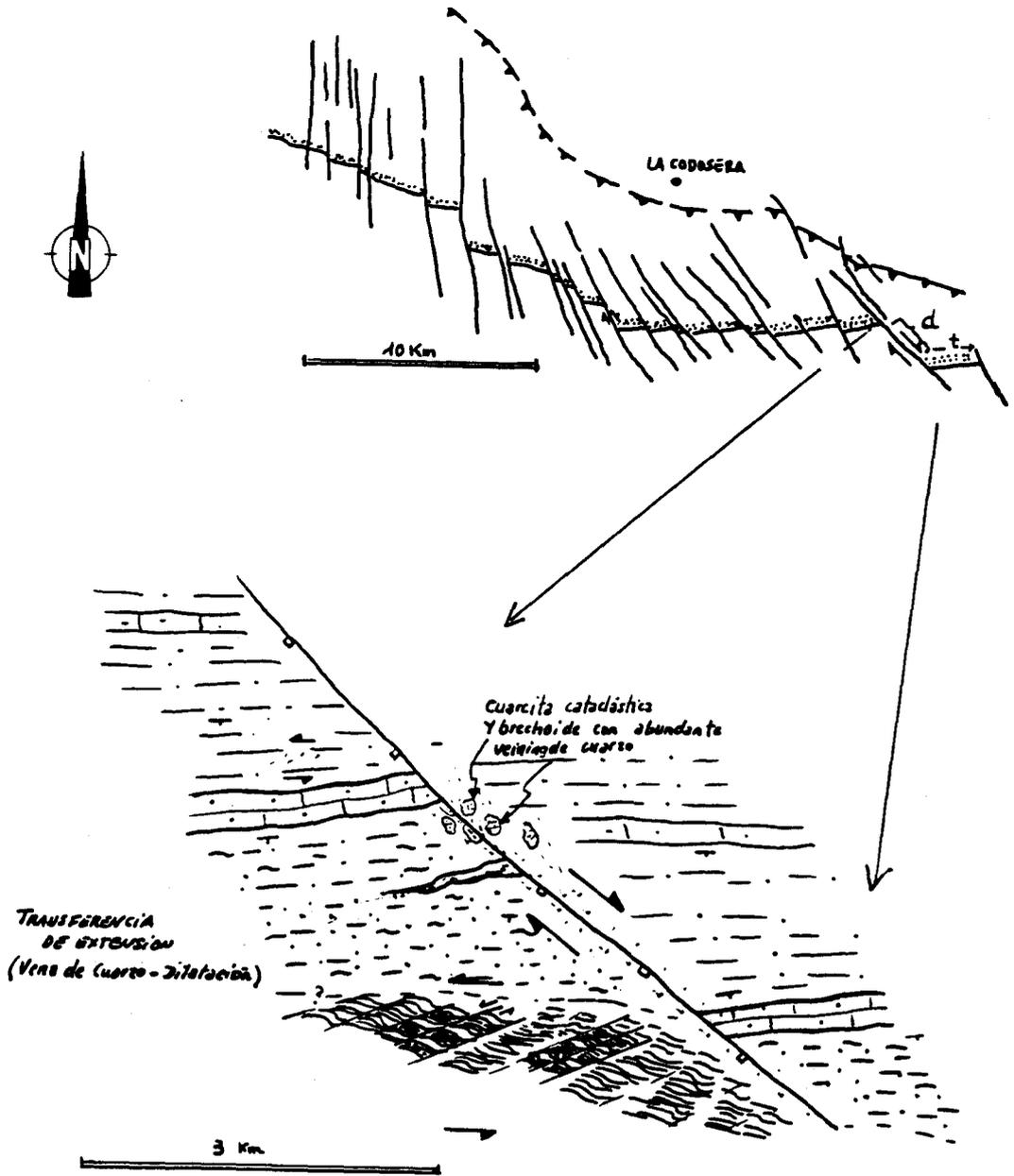
(hasta unos 3000m de desplazamiento horizontal) a medida que las fallas rotan a direcciones NW-SE (Fig.5.18). La dirección de estratificación (S0) en estos bloques rotados se orienta próxima a E-W (Sanderson et al. 1991). Los mecanismos de acomodación de extensión que se producen en los bloques (geometría en dominó) entre estas fallas antitéticas tienen gran interés en el control estructural de las mineralizaciones auríferas del área de La Codosera (Gumiel en prep.).

Modelos de geometría en "dominó" en conexión con regímenes extensionales han sido estudiados por varios autores (Werhicke & Burchfiel 1982, Axen 1988) y conectados con sistemas en dirección por otros (Mc Kenzie & Jackson 1983, 1986, Ron et al. 1984, Garfunkel & Ron 1985). En estos modelos se considera que la deformación es acomodada por un conjunto de fallas en dirección, subparalelas, entre las cuales los bloques rotan a medida que las fallas se mueven con desplazamiento lateral (Fig.5.19). En estos modelos hay que considerar dos aspectos fundamentales; 1) el deslizamiento de cada falla está relacionado con la rotación de los bloques y 2) la propia rotación de las fallas puesto que limitan los bloques. Garfunkel & Ron (1985) definen dos parámetros geométricos; 1) $K=d/t$, donde d =desplazamiento horizontal, que es proporcional a la anchura (t) del bloque, 2) α =ángulo entre las fallas y el límite de la zona de cizalla. En ausencia de deformación interna del bloque, α permanece constante, mientras que el valor de K aumenta con la deformación.

Mc Gowan (1991) utilizando los niveles de Cuarzita Armoricana del Sur del Sinclinal de La Codosera como "horizontes marcadores", en los que considera la anchura entre bloques (t) y el desplazamiento horizontal en los planos de falla (d) para el cálculo del parámetro K , profundiza en el estudio de las características geométricas del modelo dominó de la zona. Igualmente, estudia el espaciado (distancia con respecto a la zona de cizalla), proyectando las direcciones de las fallas y el ángulo α de las mismas con el límite de la zona de cizalla (Fig.5.20) y obtiene los resultados que a continuación se presentan.

Las fallas antitéticas muestran una progresiva rotación con desplazamientos dextrógiros, se inician próximas a direcciones N-S (005°) y rotan, en sentido contrario a las agujas del reloj, hasta direcciones 315°, es decir rotan un ángulo entre 45° y 50°. Por otra parte, además del conjunto principal de fallas antitéticas que muestran el sentido de rotación, con direcciones que oscilan desde N-S a NW-SE, encuentra un segundo conjunto, principalmente abundante hacia el Este de la zona, con direcciones WNW-ESE (que varían desde 002° a 340°), el cual aparece sobre todo cuando el primer conjunto y principal tiene direcciones 315-320°. La diferencia entre ambos conjuntos de fallas es de 35° (Fig.5.20).

Para explicar la aparición del segundo conjunto de fallas, Mc Gowan (1991) asume que este segundo conjunto se forma para acomodar la deformación, puesto que una rotación de 50° (primer conjunto de fallas que rotan desde direcciones N-S a 310-320°) no puede ejecutarse mediante un simple conjunto de fallas, sino que



Cuarzomilonitas con Bandas S



Cuarcita Armoricana



Porfiroides (Fm Urre)

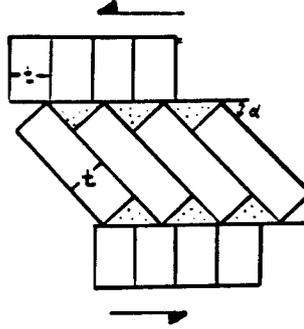


Alternancias de cuarcitas y pizarras



Fig.5.18-Trazado de una falla antitética NW-SE (330°) dextral con movimiento de deslizamiento en dirección y con extensión La Codosera (Sección Sur, Carretera a Portugal)

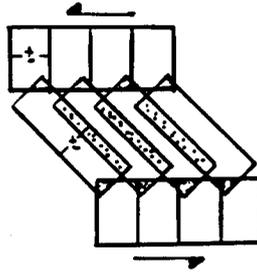
1)



Al rotar bloques rígidos la relación desplazamiento/espesor aumenta y se produce estiramiento a lo largo del límite de la zona. Se produce incompatibilidad de espacios entre bloques rotados y no rotados con gaps o solapes entre bloques y los límites de la zona.

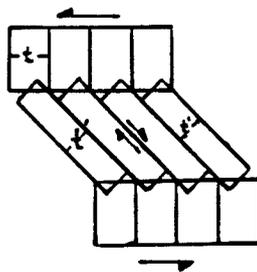
Aunque es posible algún despegue en la parte sur del sinclinal de La Codosera no es suficiente como para acomodar el estiramiento de los bloques rotados.

2)



En transtensión los bloques rotados pueden estar pinzados hacia los límites de la zona. Se producen gaps entre ellos acomodados por extensión y adelgazamiento dentro de los bloques. Deformación dentro de bloques (McKenzie & Jackson, 1986) los límites de la zona.

3)



Este sería el caso aplicable a la Codosera. Los bloques rotados se extienden paralelamente a las fallas que los delimitan. Los bloques se adelgazan ($t' < t$) y a su vez engrosan en la vertical, acomodando así la reducción de anchura. De esta forma, se pueden mantener condiciones de cizallamiento simple en los bordes de la zona y continuidad con los bloques no rotados.

Modelo de transpresión.

Fig.5.19-Modelo en dominó (bookshelf) de fallas tardihercínicas del Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera

(Sanderson, Roberts, Mc Gowan y Gumiel, 1991)

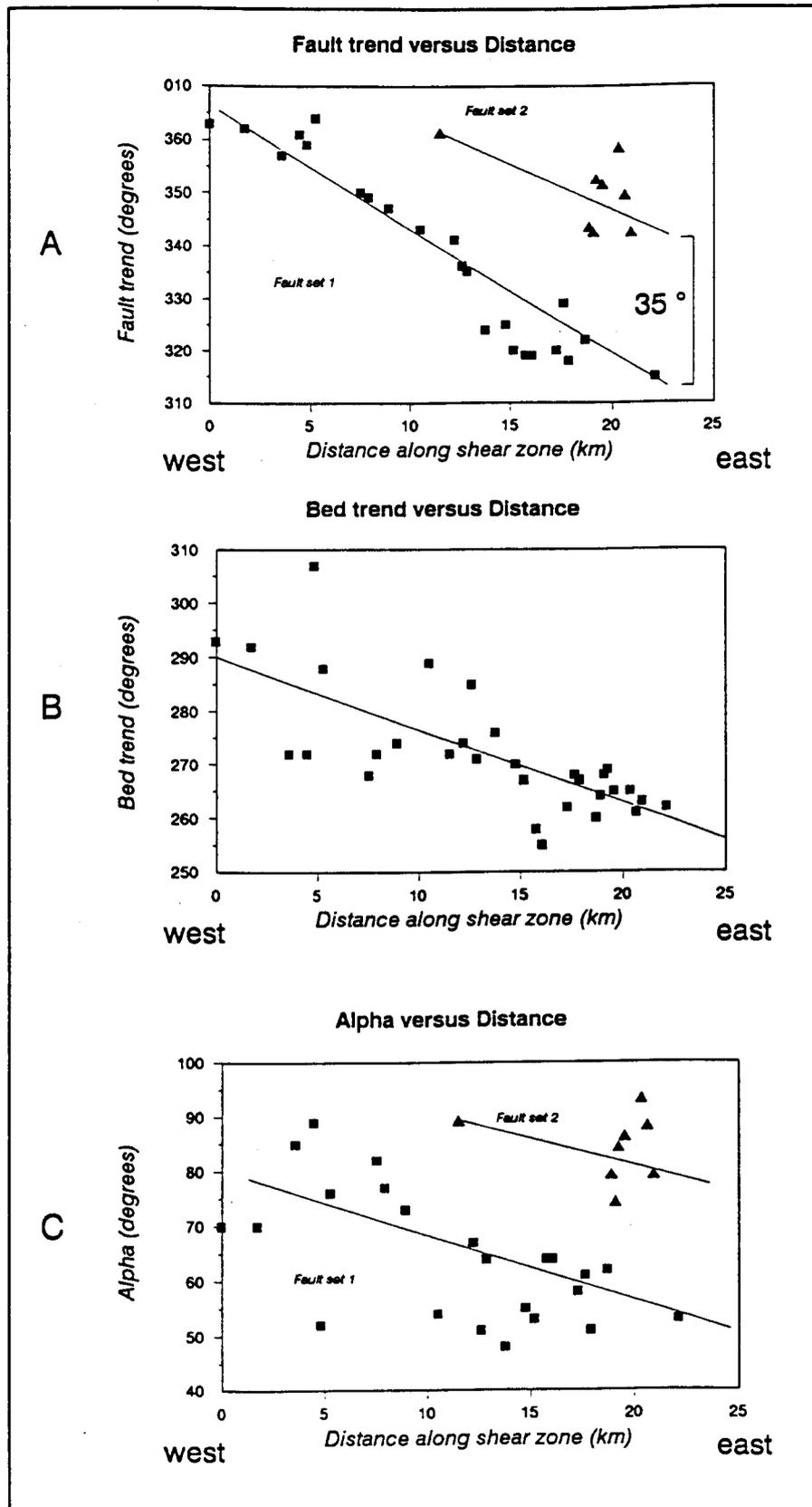


Fig.5.20-A) Dirección de fallas/distancia a lo largo de la Zona de cizalla
B) Dirección de capas/distancia a lo largo de la Zona de cizalla
C) Angulo de las fallas con la zona de cizalla/distancia (Según Mc Gowan,1991)

necesariamente se tiene que producir un segundo conjunto que acomode la deformación (Fig.5.21). Este segundo conjunto de fallas, también de carácter dextrógiro, se desarrolla a medida que el primer conjunto rota y σ_1 aumenta hasta el punto que el esfuerzo de cizalla en los planos de falla es menor que la resistencia al deslizamiento a lo largo de los planos. Consiguientemente, las fallas del primer conjunto se sellan mientras son activas las del segundo conjunto (Fig.5.21).

Sin entrar en detalle en los aspectos cinemáticos, ni en los supuestos del modelo (que asume que los parámetros de Nur et al.1986, sobre la resistencia -coeficiente de fricción, valores de σ_0/S_0 con la profundidad, etc.) pueden ser aplicables al área de La Codosera, si existe una buena correlación entre los datos de campo, así como los que aportan las imágenes Landsat (Sanderson et al.1990b ya encuentran ambos sistemas de fallas -Fig. 5.22-) y el modelo propuesto por Mc Gowan (1991).

Desde un punto de vista metalogénico (Gumiel en prep.) el modelo de geometría de fallas en dominó puede explicar la variación en la concentración y aparición de mineralizaciones auríferas del área de La Codosera. Un importante factor cinemático en el control de los fluidos mineralizadores del área de La Codosera (Fig. 5.19/3) es que los bloques rotados se adelgazan y de esta forma es posible mantener condiciones de cizallamiento simple en los bordes de la zona. Además, los bloques rotados pueden engrosar en la vertical para, de esta forma, acomodar la reducción de anchura. En un modelo de bloques rígidos de este tipo, la deformación puede originar espacios libres o zonas de dilatación (pull-aparts) entre bloques rotados y no rotados, o en zonas determinadas de los planos de falla, dado que sus trazas son irregulares y de alguna forma están conectadas con la zona de cizalla principal.

Por otra parte, como se ha visto anteriormente (Fig.5.14) aunque existen venas de cuarzo mineralizadas con orientaciones variadas, la dirección metalogénica predominante es WNW-ESE (vector medio 296°). Esto sin duda es un dato importante, puesto que por una parte, existe una clara correlación entre venas auríferas y el primer conjunto de fallas antitéticas que definen la geometría en dominó. Por otra, es posible tener una idea de la cronología de formación de dichas venas mineralizadas, puesto que las soluciones mineralizadas se canalizan a través de ese primer conjunto de fallas, antes de que éstas queden selladas, es decir antes de que se desarrolle el segundo conjunto de fallas dextróginas, de dirección NNW-SSE, que acomodan la deformación durante la progresiva rotación.

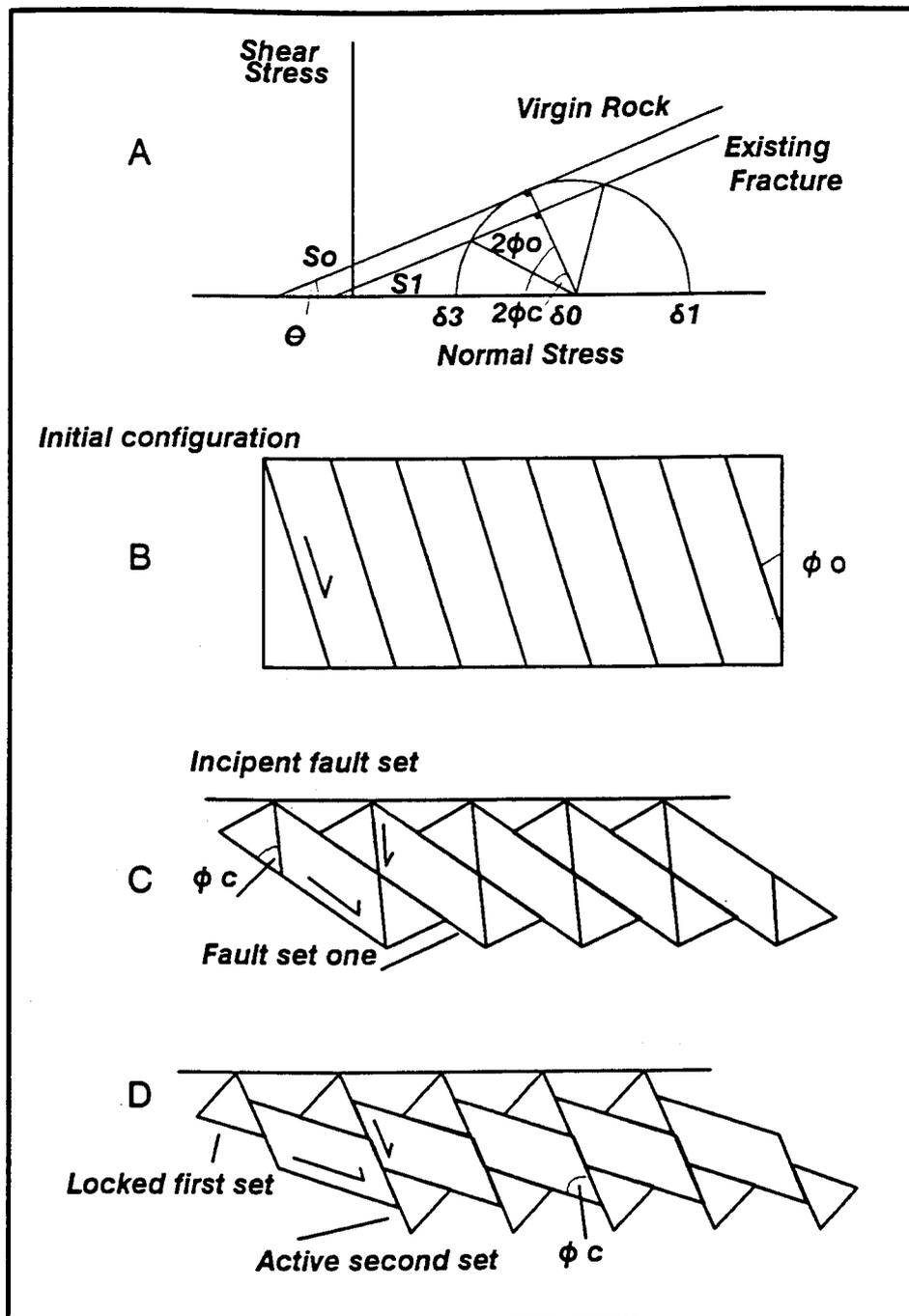


Fig.5.21- A) Representación en el Círculo de Mohr del estado de esfuerzos en la roca, con la fracturación existente. $\phi = \tan^{-1} \mu$ es el ángulo de fricción, S_0 y S_1 son los esfuerzos cohesivos de la roca fresca y fracturada respectivamente, y ϕ_c es el mayor ángulo permitido entre las fracturas existentes y la dirección en la cual nuevas fracturas van a desarrollarse si continúa la rotación. B) Modelo geométrico de rotación de bloques con desarrollo de fallas antitéticas que delimitan dichos bloques. C) y D) Modelo modificado con el desarrollo del segundo conjunto de fallas que acomodan la rotación de bloques con un ángulo mayor de 45 grados (Mc Gowan, 1991).

Por consiguiente, la caracterización de venas auríferas es coherente con las fallas antitéticas del modelo geométrico en dominó del área de La Codosera, y además las zonas más interesantes, en las que puede albergarse una determinada concentración mineral, están relacionadas con las proximidades a las fallas que sufren mayor rotación y adquieren mayores desplazamientos. En estas zonas se produce una transferencia de extensión con importantes desarrollos de veining de cuarzo, cataclasis y en definitiva, existen condiciones hidráulicas favorables como para que se pueda producir una determinada concentración mineral, si las soluciones o fluidos que por allí circulen estuviesen metalogénicamente enriquecidos. De hecho, como se analizará posteriormente (capítulo 6), las principales áreas mineralizadas, incluida la concentración de antimonio de la mina de San Antonio, están situadas en las proximidades, o en extensiones de las principales fallas NW que muestran fuertes desplazamientos laterales.

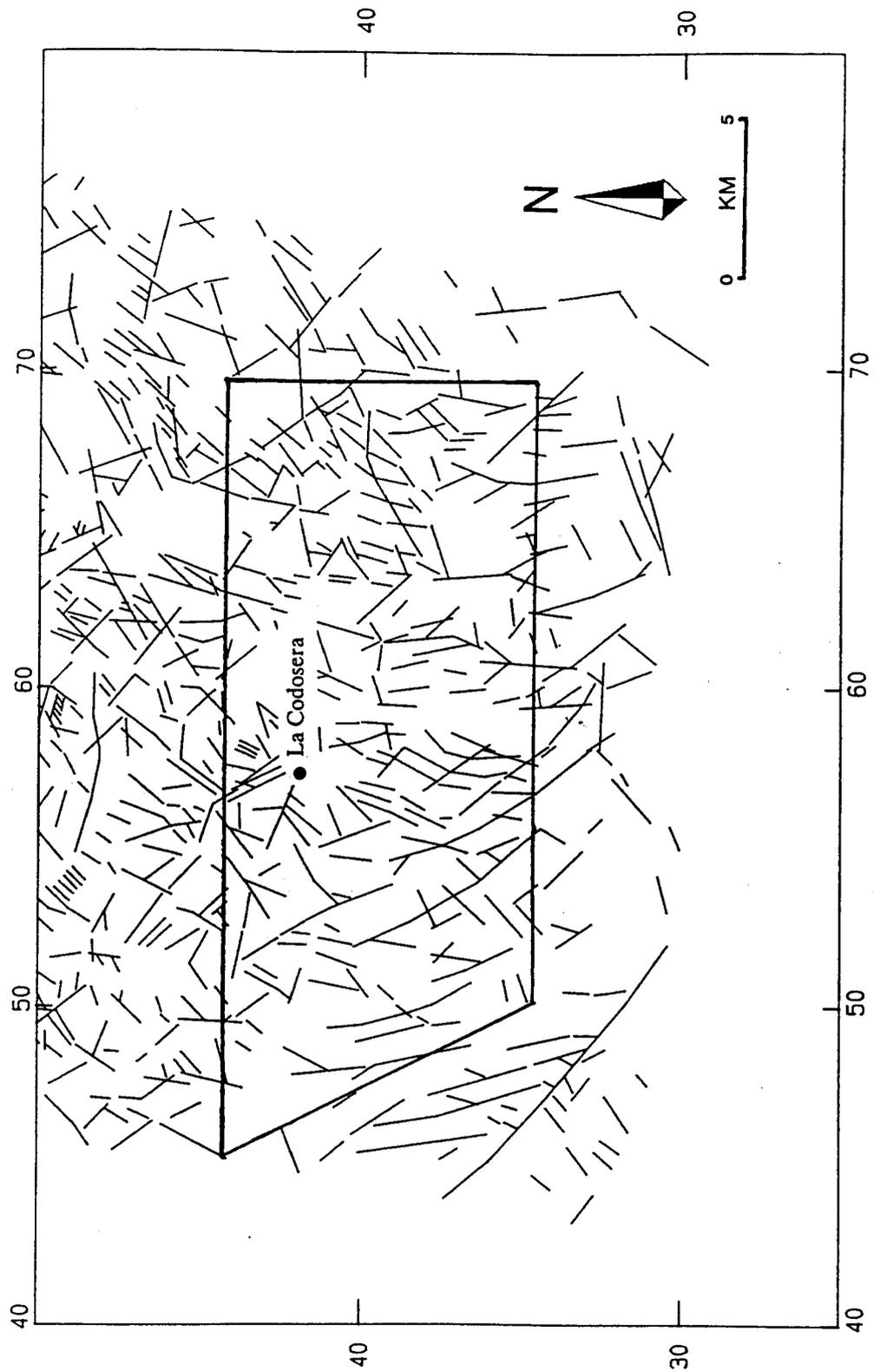


Fig.5.22-Mapa de lineamientos de La Codosera basado en interpretación de Imágenes Landsat TM (Según Sanderson et al.1990)

CAPITULO 6

CAPITULO 6.- TIPOLOGIA DE LAS MINERALIZACIONES

Las estructuras mineralizadas del área de La Codosera son numerosas y variadas, lo que caracteriza a todos los yacimientos de tipo filoniano relacionados con zonas de cizalla. Esta característica hace que la distribución de las mineralizaciones sea irregular, a veces errática, pero siempre se trata de estructuras controladas por la tectónica.

En este capítulo se analizan los caracteres geométricos, principalmente la morfología típica de las venas mineralizadas, así como la disposición y modo de presentación de la mineralización en las mismas. Por otra parte, se presentan los minerales que constituyen las paragénesis y asociaciones mineralógicas y finalmente, se correlacionan las características estructurales y metalogénicas de estos yacimientos con otros similares en otros distritos mundialmente conocidos.

6.- TIPOLOGIA DE LAS MINERALIZACIONES

Las estructuras mineralizadas del área de La Codosera son numerosas y variadas, lo que caracteriza a todos los yacimientos de tipo filoniano relacionados con zonas de cizalla. Esta característica hace que la distribución de las mineralizaciones sea irregular, a veces errática, pero siempre se trata de estructuras controladas por la tectónica.

En este capítulo se analizan los caracteres geométricos, principalmente la morfología típica de las venas mineralizadas, así como la disposición y modo de presentación de la mineralización en las mismas. Por otra parte, se presentan los minerales que constituyen las paragénesis y asociaciones mineralógicas y finalmente, se correlacionan las características estructurales y metalogénicas de estos yacimientos con otros similares en algunos distritos mundialmente conocidos.

6.1.- Geometría de las estructuras mineralizadas. Cinemática de las venas

En el área de La Codosera, a escala macro y mesoscópica, se pueden distinguir los siguientes tipos de estructuras mineralizadas (Gumiel 1991):

6.1.1.- Venas transversales, a alto ángulo respecto a la dirección general de las estructuras (Figs. 6.1 y 6.2).

Muchos indicios del área de La Codosera (por ejemplo, La Perla de Anibal, La Manzana de Oro, La Portilla Larga etc.) se presentan en forma de filones, con potencias que oscilan entre 10cm y 150cm, que rellenan fracturas subverticales o fuertemente inclinadas, de dirección entre NW-SE y NE-SW (Fig.6.5/1). Estas fracturas, en la mayoría de los casos son fallas de extensión, pero además tienen importantes reactivaciones oblicuas (diferentes generaciones de estrías en el plano de falla del indicio aurífero de La Portilla Larga -Fig.6.5/2-), debidas a una fuerte componente en dirección (componente de cizalla). Existen suficientes criterios cinemáticos en las venas como para resaltar esa componente de cizalla. Por ejemplo, disposiciones de grietas en relevo (en echelon), grietas sigmoidales, (Figs. 6.3, 6.4, y 6.5/3), pinnate veins, pull-aparts etc., que indican movimientos locales con sentido sinistral o dextral.

Zonas de dilatación (-dilational jogs- Figs. 6.6/1 y 6.6/2) que pueden ser de varios tipos, aunque el principal es el modelo en "malla" (Mesh model de Sibson 1985). Desplazamientos en intersecciones (Fig.6.6/3), venas pinnadas (pinnate veins -Fig.6.6/4-) en "cola de caballo" (horsetail), o zonas de ramificaciones (branching veins -Fig.6.7/1-), brechificaciones y cataclasis (Fig.6.7/2 y 6.7./3). Todas estas estructuras son favorables para que se generen bolsadas o zonas de enriquecimiento (bonanzas), donde generalmente aumenta la ley mineral alcanzándose contenidos de oro de hasta 30 g/t.

A escala mesoscópica, las venas muestran fibras de extensión, a partir de las cuales se puede cuantificar, utilizando el método de McCoss (1986), la dirección de máxima extensión, el vector desplazamiento (S) y consiguientemente, la dirección de apertura (Figs. 6.3, 6.4 y 6.8/1). A partir de las fibras de extensión medidas en las venas analizadas que comprenden direcciones; NW-SE (entre N150°E y N170°E, Fig.6.3) y NE-SW (entre N30° y N60°E, Fig.6.4), se ha encontrado que la dirección de máxima extensión (incremento de máxima extensión ΔE) es próxima a E-W, oscilando entre N90°E y N120°E, que corresponde con direcciones de acortamiento comprendidas entre N-S y NE-SW, lo que está de acuerdo con los datos estructurales obtenidos (capítulo 5). La dirección media N105°E de apertura de las venas, obtenida a partir de las fibras de extensión, puede deberse a reaperturas de las venas N30°E ya que las orientaciones de las fibras se disponen siempre perpendiculares a este conjunto de venas.

Por consiguiente, la cinemática de las venas refleja que las fallas que aprovechan han tenido movimientos de cizalla y extensión. Esto también se pone de manifiesto a escala mesoscópica, por los paquetes de fibras conectados mediante fallas con deslizamiento continuo transformante (leaky transform fault -Fig 6.8/2-), y microscópica porque algunas venas muestran líneas de crack-seal (Fig. 6.8/3). Así mismo, se reconocen crecimientos sintaxiales y antitaxiales (Fig. 6.9/1) en algunas venas, y cristales estirados (stretched crystals -Fig. 6.9/2-). Estos procesos, principalmente el de crack-seal, que confirman multiestados de apertura de fisuras y relleno (sellado), se basan en las fluctuaciones de la presión de fluidos y son una fuerte evidencia de la fracturación hidráulica. Son características las bandas de inclusiones paralelas a las paredes de las venas, así como las colas de inclusiones (Fig.6.9/3). El mecanismo de crack-seal (Ramsay, 1980) es especialmente característico de venas con crecimiento antitaxial, aquellas con nucleación a partir del centro de la fisura, y de venas con fibras de cristales estirados, a fuerte ángulo con las paredes y en continuidad óptica con las mismas (Fig.6.9/2).

Hay que resaltar que la reactivación de las estructuras (fallas -Fig.6.5/2-), con todos los mecanismos que conlleva, como reaperturas y relleno por las soluciones mineralizadoras, puede ser un factor fundamental en la concentración mineral.

6.1.2.- Indicios relacionados con fallas en dirección (Figs.6.1 y 6.2).

Otro importante grupo de indicios y labores Romanas del área de La Codosera (por ejemplo, la labor Romana del Sector Central- Jola-Chirriato, labores en la Sierra de La Breña, etc.) está localizado en superficies de despegue (detachment) en estructuras como fallas inversas o cabalgamientos (thrusts -Fig.6.10/1-), subparalelas a las estructuras regionales, de dirección general N110°E. Este tipo de estructuras asimétricas pueden considerarse como de tipo "en flor" (flower structures) y son congruentes con el modelo de tectónica en dirección (strike-slip) en régimen transpresivo que se tiene actualmente de la zona (ver capítulo 5).

Existen criterios cinemáticos que apoyan las reactivaciones oblicuas de estas estructuras, como por ejemplo estrías longitudinales en planos de cabalgamientos (Fig. 6.10/2). Al igual que en las fallas que se disponen a alto ángulo con respecto a las estructuras, las reactivaciones son fundamentales para el paso de soluciones mineralizadoras que eventualmente pueden producir concentraciones minerales.

6.1.3.- Mineralizaciones tipo "Saddle reef" (Figs. 6.1 y 6.2).

Otros importantes, e insuficientemente conocidos indicios, en el área de La Codosera son aquellas labores situadas en zonas de dilatación, como por ejemplo, zonas de charnela de pliegues, generando mineralizaciones en tipo "silla de montar" (saddle-reef). Un ejemplo es el de Monteviejo Area Norte. En este caso, la mineralización de oro rellena espacios abiertos y reemplaza rocas favorables en la zona de charnela de un pliegue (D2) de dirección E-W y pinchando 50° E (Fig.6.11/1). Las características geométricas de estos pliegues de la segunda fase D2, como asimetría y vergencia, son congruentes con el sentido sinistral del cizallamiento regional que afectó a la zona de La Codosera (Fig.6.2). La mineralización de oro, con contenidos comprendidos entre 1.5 y 6.5 g/t, se presenta en el cuarzo que ocupa la zona de dilatación de la charnela del pliegue, en zonas brechoides de la misma y rellenando microfracturas de extensión típicas de la zona de charnela.

La importancia de este tipo de mineralizaciones en el área aún no ha sido suficientemente valorada, por lo que en principio, cabe suponer que las estructuras D2 pueden tener interés desde el punto de vista de la exploración.

Además se quiere resaltar la conectividad entre las estructuras mencionadas (1,2 y 3) y las fallas antitéticas NW-SE que conforman la geometría en "dominó" (capítulo 5). En la mayoría de los casos, incluida la situación de la mina de antimonio de San Antonio (Gumiel 1981, Gumiel et al, 1991- Fig.6.1-) estas estructuras mineralizadas están situadas en las terminaciones de las fallas antitéticas NW-SE, lo que supone así mismo, una conectividad con la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba, de importancia trascendental para la circulación de fluidos mineralizadores que puedan derivar de dicha Zona de Cizalla. La concentración de determinadas mineralizaciones en estructuras favorables, generalmente de dilatación, se puede producir si las condiciones físico-químicas son favorables, en un marco metalogénico global de mineralizaciones en conexión espacial con zonas de cizalla.

6.1.4.- Paleoplaceres (Fig.6.1 y 6.2).

Este tipo de mineralizaciones fué puesto de manifiesto durante la realización del Proyecto que realizó INGEMISA para el ITGE: "*Continuación de la Prospección y Exploración de oro en el área de La Codosera*". En este Proyecto se estudió y valoró de forma exhaustiva este tipo de depósitos, y por esta razón, en esta memoria tan solo se hace una breve referencia a los mismos, con objeto de presentar la tipología completa de las mineralizaciones auríferas que aparecen en el área de La Codosera.

Se trata de mineralizaciones de oro, con contenidos que oscilan entre 0.2 y 2.1 g/t de Au, en sedimentos detríticos groseros, constituídos principalmente por conglomerados, fanglomerados y/o debritas. Estos depósitos están compuestos por cantos de cuarcitas y pizarras en una matriz arcillosa rica en hierro (Fig.6.11/2), y han sido interpretados como originados por flujo gravitacional (flujos de cantos -debris flow-). Anteriormente, a una parte de estos sedimentos se les había denominado coluviones y se asociaron con depósitos recientes, pertenecientes en su mayoría a derrubios. En el mencionado proyecto, estos materiales se han interpretado como debritas, sedimentos implicados en una dinámica fluvial (abanicos aluviales) de edad Plioceno y/o Pliocuaternario, por correlación con sedimentos análogos en la Cuenca del Guadiana. Estas debritas, se formarían en cuencas alargadas y estrechas, originadas como consecuencia de reactivaciones en el Ciclo Alpino de las estructuras más antiguas. Por otra parte, estos depósitos sufren una deformación posterior, puesta de manifiesto por la presencia de huellas de actividad neotectónica, como son estrías de fricción y marcas de presión en los cantos.

6.2.- Paragénesis y asociaciones minerales.

Los indicios de oro del área de La Codosera pertenecen a la asociación; **cuarzo-arsenopirita-pirita-oro (q.As-Fe-Au)** (Gumiel 1987, en Quesada et al,1987). En esta asociación mineral, el cuarzo contiene sulfuros y sulfoarseniuros de hierro. La pirita está oxidada por completo y los óxidos y fosfatos de hierro, resultantes de dicha alteración, crecen formando agregados botroidales de goethita y kakoxeno en los huecos dejados por la pirita. La arsenopirita está parcialmente transformada en escorodita y el oro se encuentra, en forma de laminillas idiomorfas o subidiomorfas, dentro de las concreciones de limonita, y mas raramente visible en el cuarzo (Fig.9.2/1). El oro primario estaba incluido en la arsenopirita (Gumiel et alt., 1991) en forma de inclusiones o como soluciones sólidas y se liberó al alterarse los sulfuros y sulfoarseniuros de hierro.

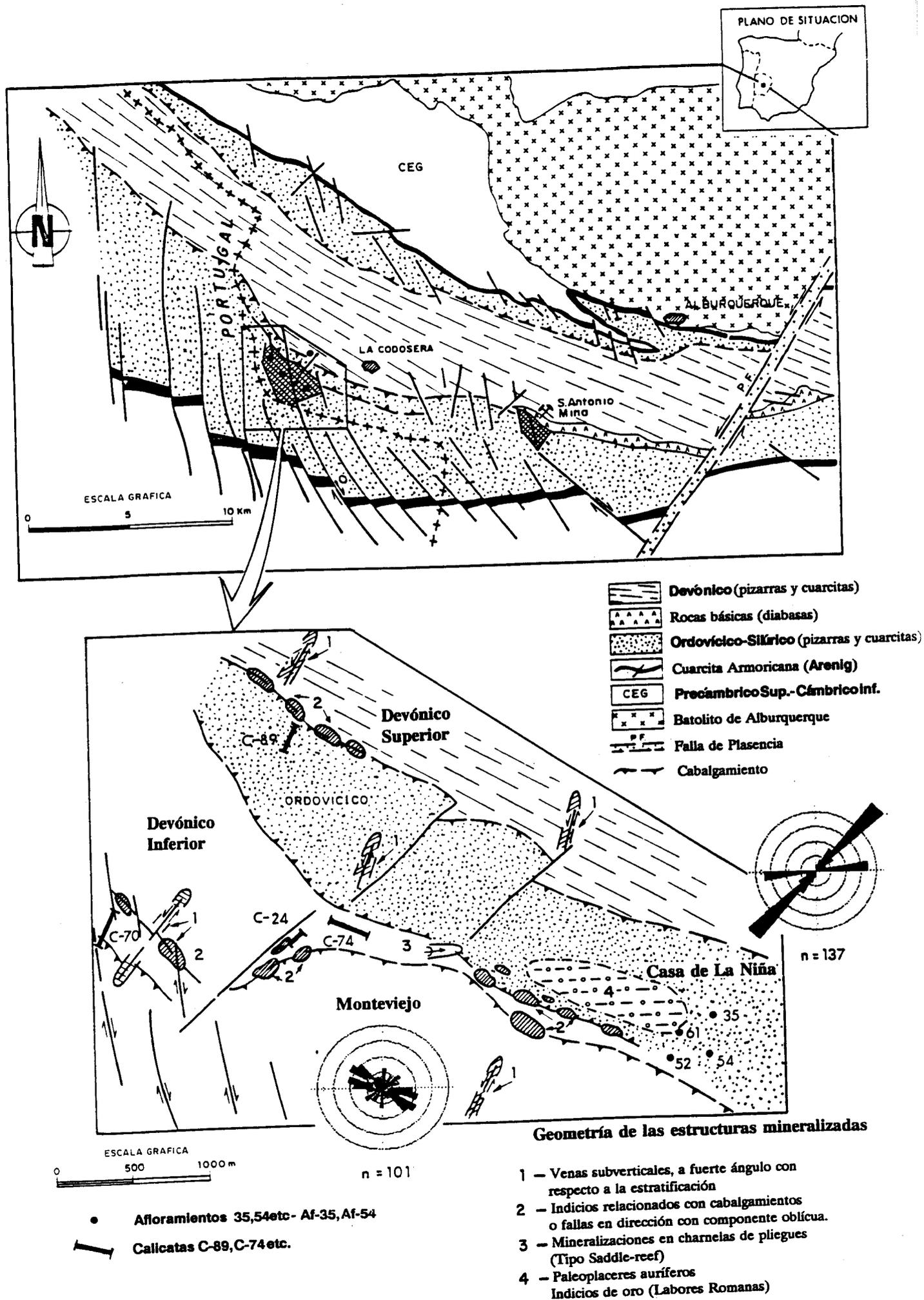


Fig.6.1.- Situación de los tipos de mineralizaciones de oro en el Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera.

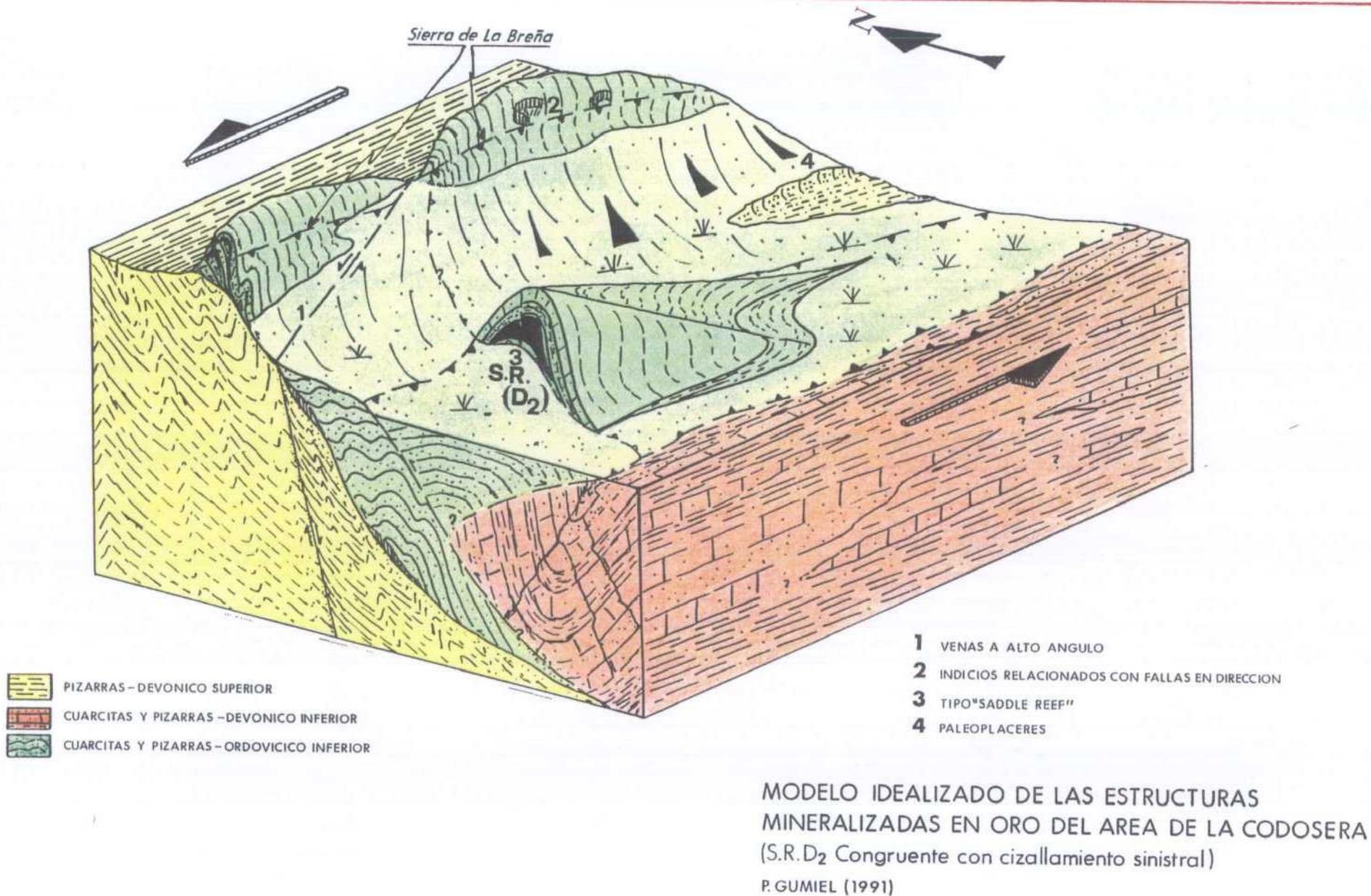


Fig.6.2.- Modelo tridimensional idealizado de las estructuras mineralizadas del Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera (Gumiel, 1991).

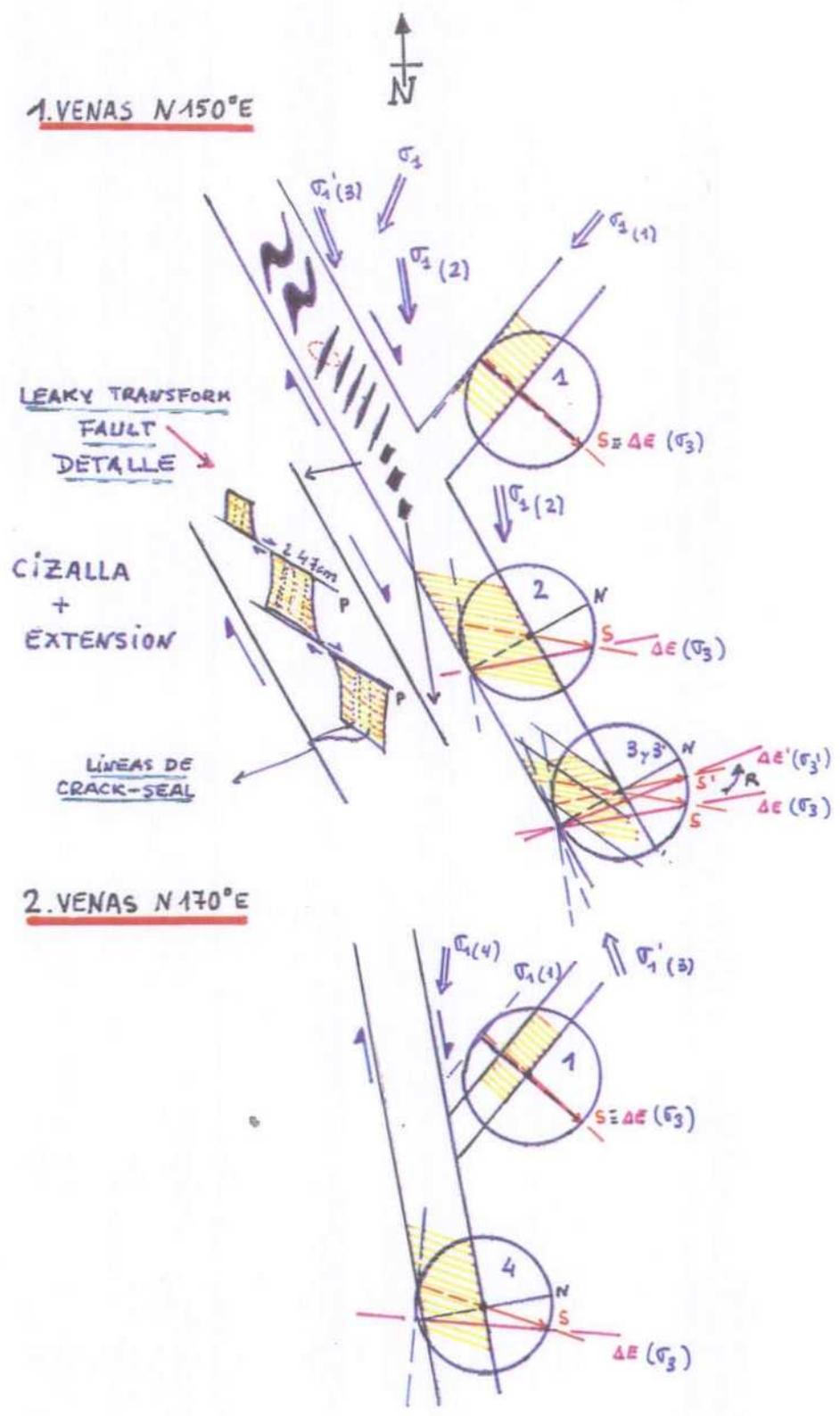


Fig.6.3.- Fibras de extensión en venas de cuarzo N150° y N170°E en cuarcitas. Sector Central de La Codosera. S vector desplazamiento, e incremento de máxima extensión ($-\mathcal{A}$ -apertura) con una dirección próxima a E-W (comprendida entre N90°y N120°E). Obsérvese en el esquema el detalle de los paquetes de fibras conectados mediante fallas con deslizamiento continuo transformante (leaky transform fault).

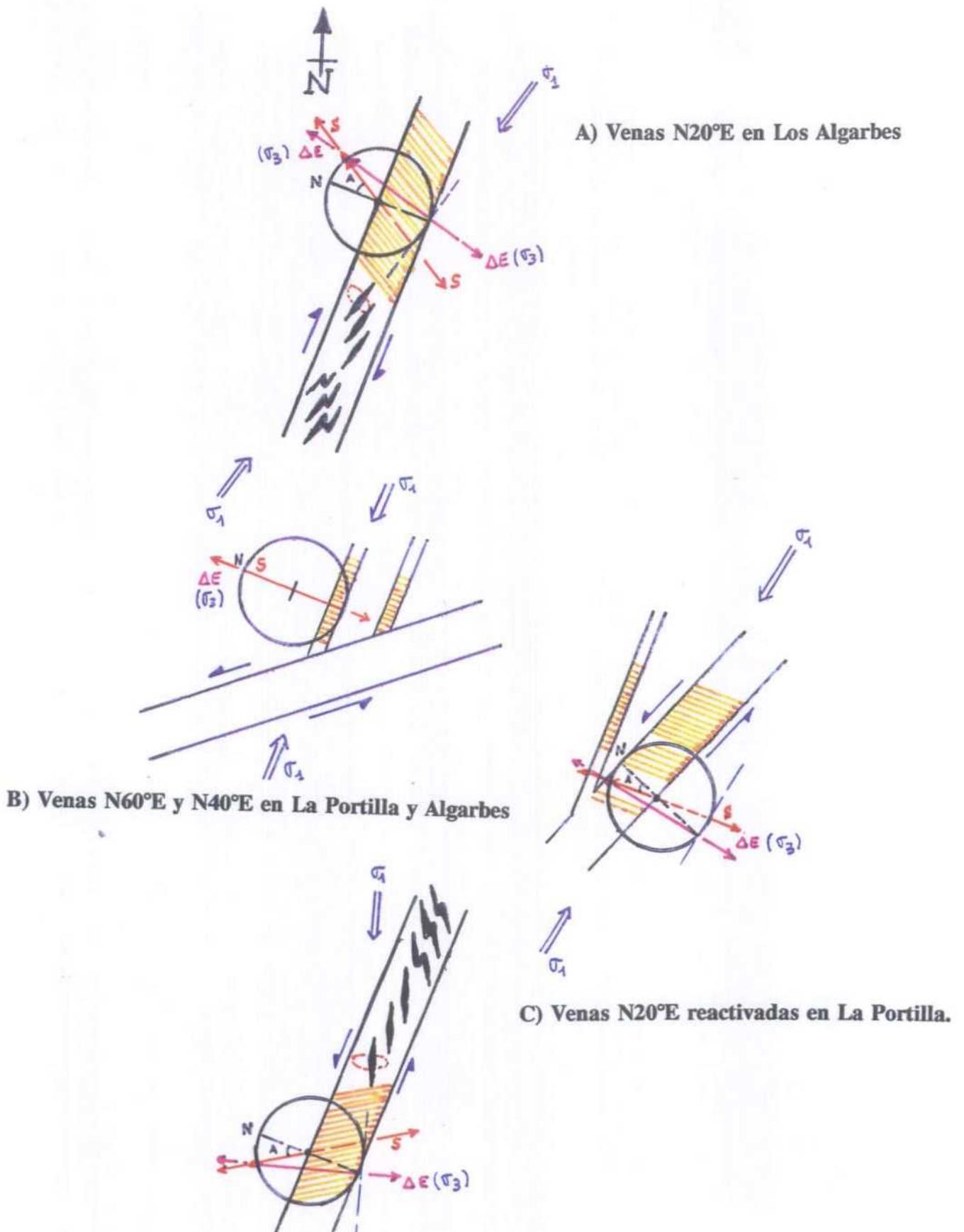


Fig.6.4.- Fibras de extensión en venas de cuarzo N20°, N40° y N70°E en cuarcitas y pizarras del Devónico. Algarbes-Portilla, La Codosera. S vector desplazamiento, e incremento de máxima extensión (-Æ-apertura) con una dirección próxima a E-W (comprendida entre N90°y N120°E). Obsérvese en el esquema la disposición de las grietas de cuarzo en echelon y las grietas sigmoidales que proporcionan criterios cinemáticos de las venas.

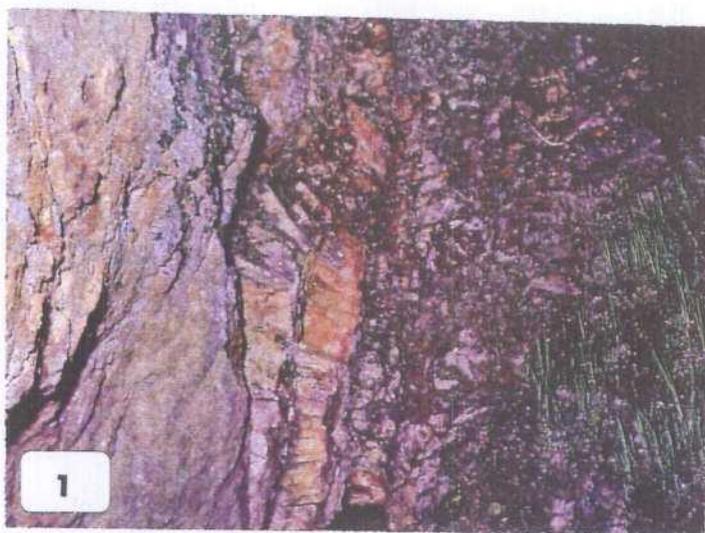


Fig.6.5/1.- Falla de extensión de dirección NE-SW en el indicio de oro de La Portilla Larga. Se observan brechificaciones locales en las venas desarrolladas en la falla. Sector Central, Monteviejo (La Codosera).

/2.- Varias generaciones de estrías (reactivaciones) en el plano de falla del indicio de La Portilla Larga, La Codosera.

/3.- Grietas sigmoidales en echelon rellenas de cuarzo, en fallas N40°E con movimiento sinistral. Sector Central, La Codosera.

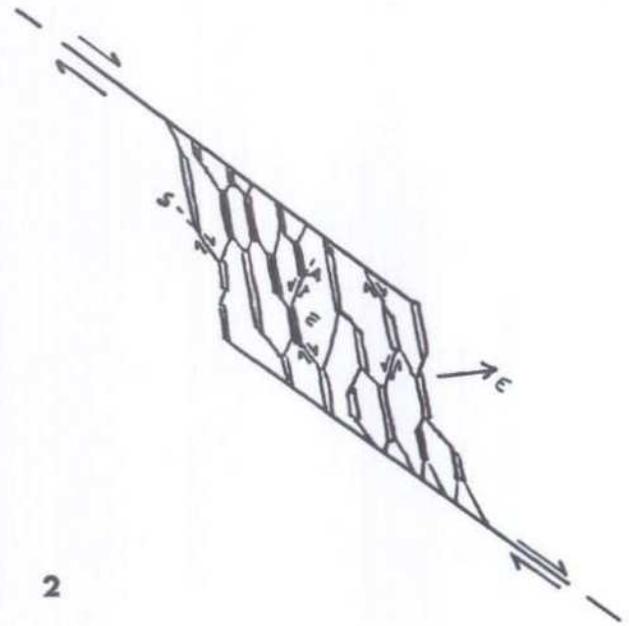


Fig.6.6/1.- Zona de dilatación (en malla) en falla N50°E que constituye una zona de enriquecimiento (bolsada) con contenidos de oro superiores a 10 g/t. Indicio de La Perla de Anibal, La Codosera.

/2.- Zona de dilatación (dilatational jog). Modelo en "malla" o engranaje (Sibson 1985). Consiste en la unión de cizallas (S y A), junto con fracturas de extensión (E) para formar la zona de dilatación. Estas zonas son puntos de control en la iniciación y terminación de las rupturas en las fallas, como energía adicional necesaria para transferir deslizamiento entre fallas.

/3.- Cuarcitas con venas de cuarzo. Detalle de las venas a bajo ángulo con respecto al eje del sondeo (30N) desplazadas por las de alto ángulo (60N). Sondeo Codo-25, 47m de profundidad.

/4.- Pinnate veins (venillas en "cola de caballo") de dirección N20°E en falla N50°E. Sector Central, La Codosera.

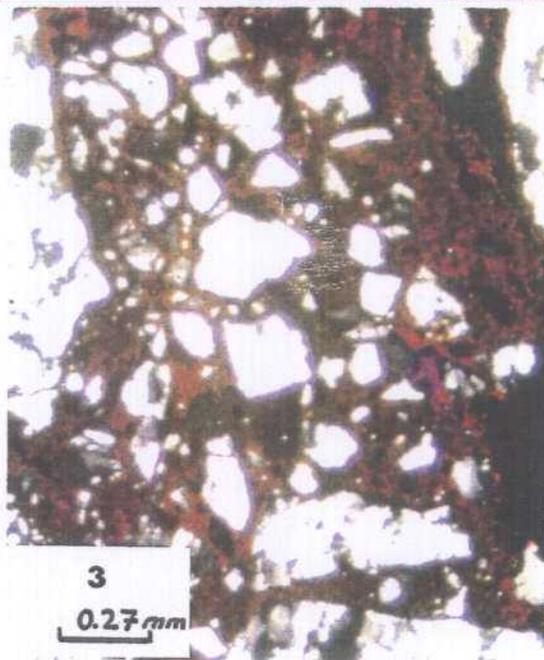
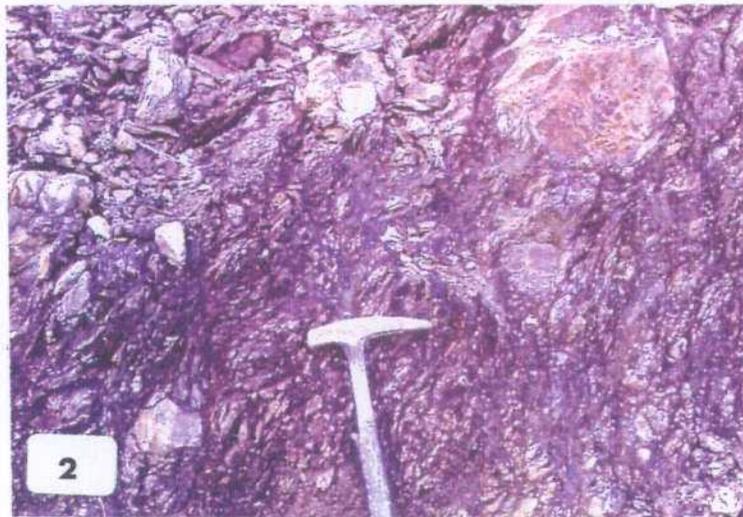
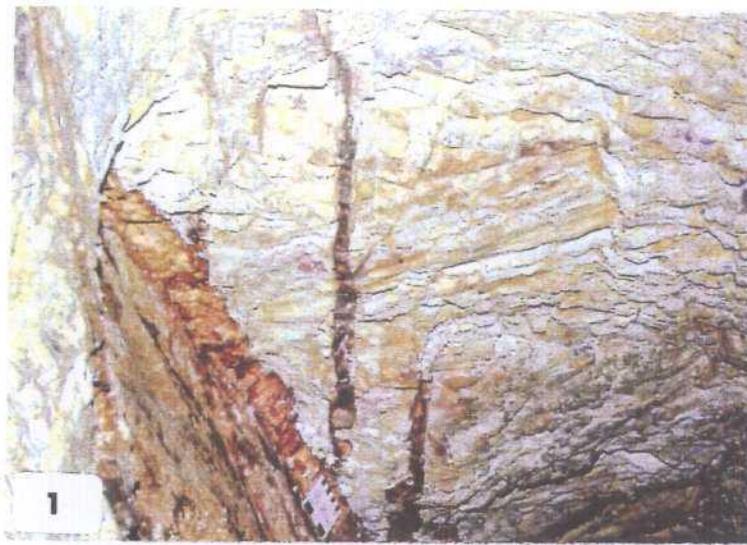


Fig.6.7/1.- Venas ramificadas (branching veins) N20°E que acompañan a las venas auríferas principales N50°E. Indicio de La Perla de Anibal, La Codosera.

/2.- Aspecto macroscópico de brecha de falla (Crush-breccia) en el Sector Sur del Sinclinal de la Codosera.

/3.- Aspecto microscópico de brecha de falla-cataclasita, con fragmentos de cuarzo en matriz ferruginosa. Sondeo Codo-23 a 25m, La Codosera.

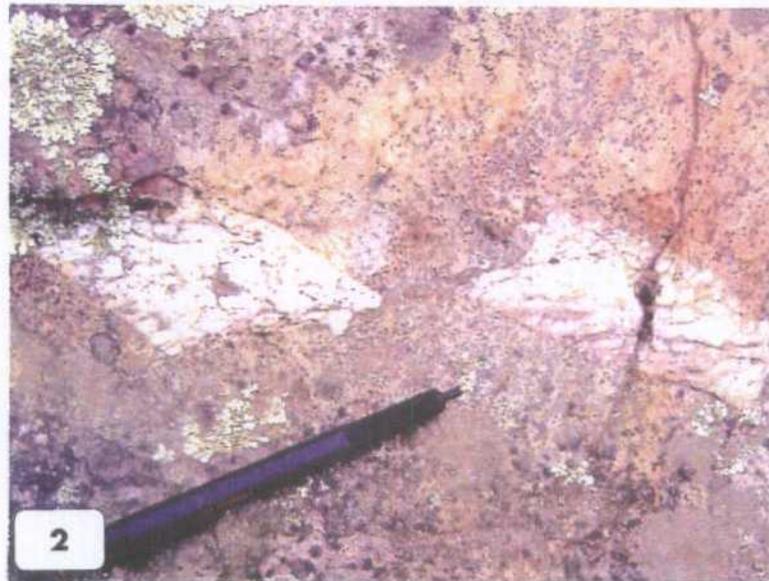
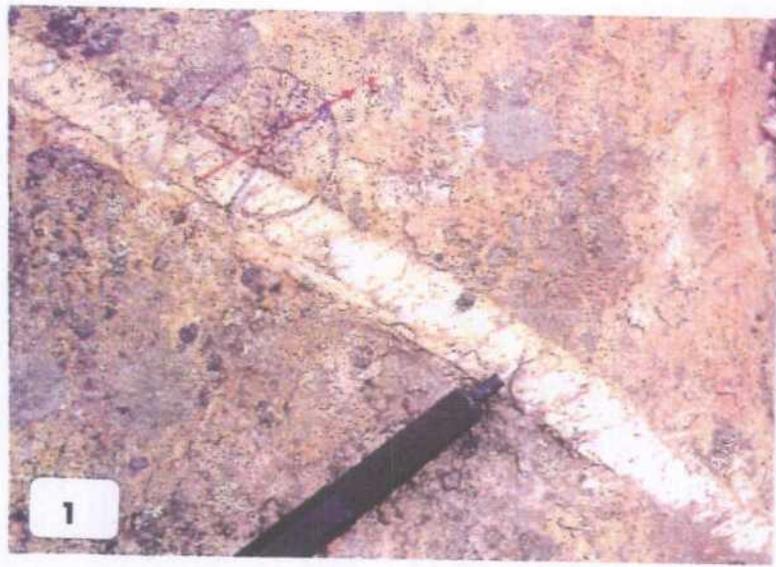


Fig.6.8/1.- Fibras de extensión en venas de cuarzo N150°E, en cuarcitas del Sector Central de La Codosera.

/2.- Paquetes de fibras conectados por fallas con deslizamiento continuo transformante (leaky transform faults) en venas N170°E con movimientos de cizalla y extensión. Sector Central, La Codosera.

/3.- Aspecto microscópico de las líneas de crack-seal en cristales de cuarzo, características de algunas venas del área de La Codosera. Sondeo Codo-30, a 32m de profundidad.

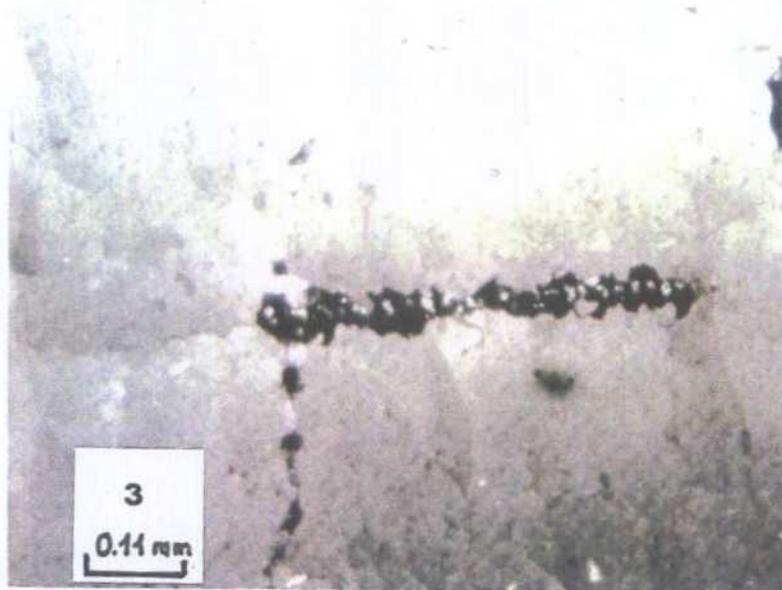


Fig. 6.9/1.- Aspecto microscópico de venas formadas pro crecimiento antitaxial, nucleadas a partir del centro de la fisura, la cual aparece rellena por óxidos de hierro. Sondeo Codo-27, La Codosera.

/2.- Aspecto microscópico de los cristales estirados (stretched crystals) de algunas venas de cuarzo del área de La Codosera. Muestra de vena de cuarzo del área de Los Algarbes.

/3.- Aspecto microscópico de las colas de inclusiones características de las venas que han sido sometidas a mecanismos de crack-seal. Muestra de vena de cuarzo de Montevejo.

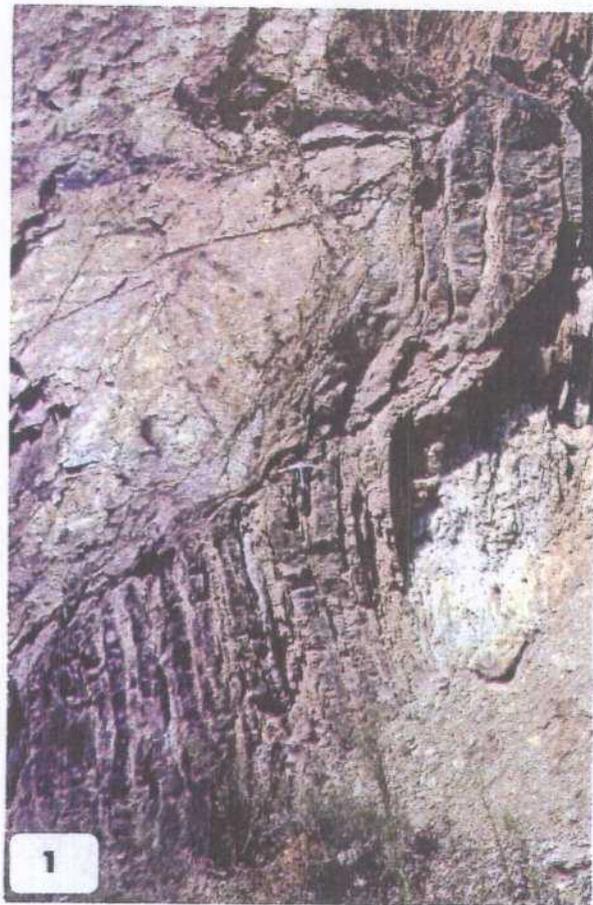


Fig.6.10/1.- Detalle de la falla inversa, de bajo ángulo (thrust), de dirección N110°E en cuarcitas ferruginosas y pizarras del Devónico, en la Cª de Aliseda-Alburquerque.

/2.- Reactivaciones oblicuas de estructuras regionales. Detalle de las estrías longitudinales, subhorizontales (debajo del metro) en cuarcitas del Ordovícico Inferior (Sª de la Breña, La Codosera).

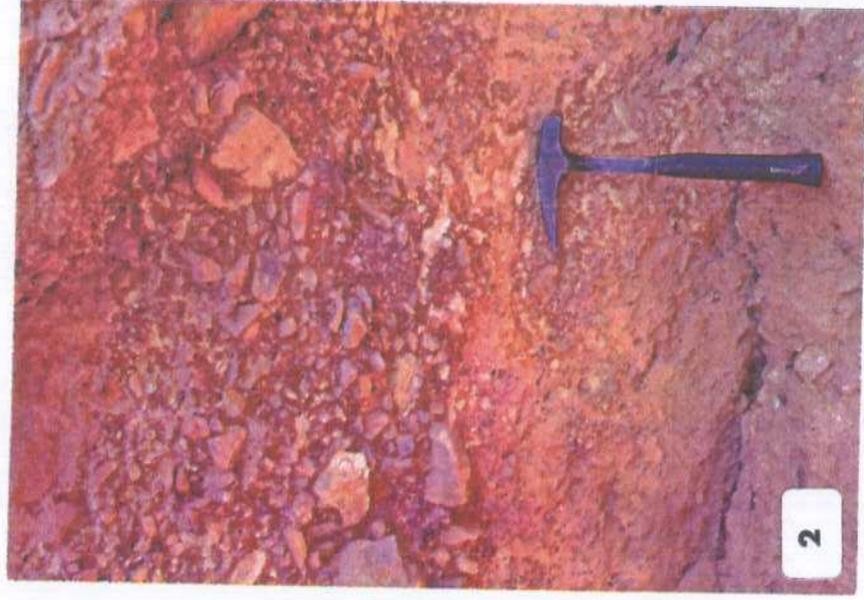
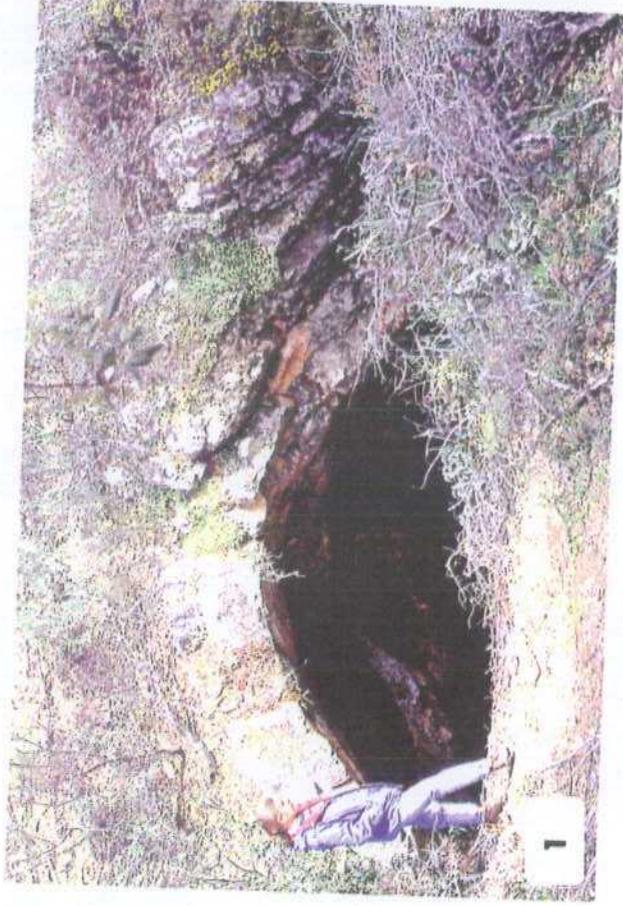


Fig.6.11/1.- Pliegue D2, de dirección E-W y pinchando 50°E, cuya asimetría y vergencia son congruentes con el movimiento sinistral de la cizalla de La Codosera. La mineralización de oro rellena la zona de charnela del pliegue, constituyendo un tipo saddle-reef. Monteviejo, La Codosera.

/2.- Depósitos de debritas (Oligoceno ?) formados por cantos desordenados de cuarcitas y pizarras en matriz arcillosa, con mineralización de oro que constituye el tipo paleoplacer.

6.3.- Correlación de las mineralizaciones del área de la Codosera con otras de características semejantes.

Existen muchos ejemplos de yacimientos minerales relacionados con zonas de cizalla, o en regímenes tectónicos asociados a deslizamientos en dirección (wrench tectonic). Todos tienen en común que los depósitos se localizan en la proximidad de offsets de fallas, pull-aparts o zonas de dilatación (jogs), cuando el sentido de desplazamiento está bien definido, así como en las cercanías de las terminaciones de fallas, en los cambios de dirección de las mismas, curvaturas etc. En general, las fracturas de extensión generadas en zonas de dilatación proporcionan conductos, a través de los cuales, los fluidos pueden ascender y circular en niveles supracrustales, siguiendo generalmente zonas de ruptura sísmica. Un brusco descenso de la presión de fluidos, dentro de las zonas de dilatación, supone unas condiciones favorables para la precipitación de metales.

Entre los ejemplos clásicos, hay que citar las mineralizaciones relacionadas con los campos geotérmicos de Salton Sea y Cerro Prieto, relacionadas con el complejo sísmo-tectónico de la zona de la falla San Andrés (California). Los yacimientos de oro de Nueva Zelanda (Martha Lode) en donde se observan buenos ejemplos de zonas filonianas en jogs de dilatación, asociados a fallas normales, con movimiento de cizalla dextra. La mineralización de edad Miocena encaja en andesitas hidrotermalmente alteradas. Las texturas de las venas muestran una compleja historia de sucesivos incrementos de extensión relacionados con un sistema de deslizamiento en dirección. Datos de inclusiones fluidas revelan que los fluidos tienen un origen crustal, con temperaturas de deposición entre 220 y 270°, a profundidades comprendidas entre 400 y 1000m.

Otro ejemplo son los yacimientos de oro del Escudo Canadiense (Sigma mine, Val d'or, etc.). Estos yacimientos son clásicos ejemplos de yacimientos mesotermales de oro en Cinturones de Rocas Verdes (Greenstone belts), asociados a zonas de cizalla. Sibson et al.(1988) proponen mecanismos como el de "bombeo sísmico" o el de "válvula" de las fallas inversas, para explicar la removilización de fluidos, probablemente de origen metamórfico. La deposición de metales en relación con las fluctuaciones de la presión de fluidos dentro de las zonas de falla, en diferentes fases de reactivación, se atribuye a la fase de descarga que sucede a la ruptura sísmica. Este proceso es cíclico y coincide con el ciclo sísmico.

Así mismo, hay que mencionar los yacimientos de oro del Oeste de Australia, que se encuentran asociados a grandes lineamientos, a escala regional, que corresponden a zonas de cizalla a escala crustal. Los depósitos, a escala local, se encuentran situados en estructuras subsidiarias, como por ejemplo, fallas de extensión. El origen de los fluidos es complejo ya que hay fenómenos de mezclas con soluciones que provienen de granitoides, de Greenstone belts y de las rocas encajantes (Eisenlohr et al., 1989).

En el ejemplo clásico del Distrito aurífero de Ballarat-Bendigo (Lachlan Fold Belt Central Victoria, Australia), las mineralizaciones de oro se sitúan en estrechos dominios, estructuralmente controlados, en secuencias turbidíticas de bajo grado metamórfico. Las estructuras mineralizadas se sitúan en zonas de dilatación relacionadas con pliegues y fallas inversas, en fallas de extensión y en zonas de charnelas de pliegues anticlinales, constituyendo los mundialmente conocidos saddle-reefs (Cox et al.,1991).

También son correlacionables los yacimientos de oro del Zócalo Hercínico Francés. Bonnemaison y Marcoux (1987) señalan que las zonas de cizalla que tienen asociadas mineralizaciones de oro presentan tres estados genéticos de la mineralización; un estadio precoz (oro invisible) que corresponde con el desarrollo de zonas de deformación dúctil a dúctil-frágil, en el que la mineralización de oro se encuentra como arsenopirita aurífera. Un estadio intermedio, en el que el movimiento de desplazamiento de las zonas de cizalla crea aperturas que van a ser rellenas con venas. En esta fase aparece oro nativo como consecuencia de la desestabilización de los sulfuros, y finalmente, una tercera etapa tardía que se forma como consecuencia de la removilización de los minerales auríferos formados anteriormente, y se concentra en huecos y cavidades en las estructuras de extensión. Se desarrollan pepitas de oro de tamaño milimétrico.

Finalmente, el mejor grado de correlación que se ha encontrado con las mineralizaciones de oro de La Codosera, por sus analogías en cuanto al control estructural y texturas de la mineralización, es con el Distrito aurífero de Mesquite en el SE de California. Este Distrito, el segundo en producción de oro en California, tiene dos masas principales, de edad Oligoceno y está en relación con el sistema sismo-tectónico de San Andrés. La formación de las venas, reactivaciones de las fallas que las controlan y la deposición mineral fueron procesos episódicos. La geometría de las estructuras mineralizadas señala que se formaron en relación con el movimiento de deslizamiento dextral del sistema de San Andrés. La distribución de zonas de enriquecimiento mineral está controlada por las zonas de dilatación, estructuras en flor y duplex de extensión. El control estructural se produce a todas las escalas (a escala de yacimiento y de Distrito), y el modelo que se posee propone que la mineralización se concentra en zonas de relativa extensión entre fallas subparalelas con movimiento de desplazamiento dextral, en combinación con zonas de dilatación asociadas a fallas de extensión y con movimientos de deslizamiento en dirección. (Willis y Tosdal, 1992).

La geometría de las fallas en el área de San Andrés muestra en algunos sectores, una configuración en dominó o "bookshelf" asociada al sentido general de desplazamiento dextrógiro de la zona. Esto sirvió como comparación, pero con un sentido de movimiento opuesto (sinistral), de dicha área con la configuración estructural del área de La Codosera (Sanderson et al.1992, ver capítulo 10).

CAPITULO 7

CAPITULO 7.- TRABAJOS DE EXPLORACION REALIZADOS

Este capítulo trata de los trabajos de exploración realizados, concretamente sobre las campañas de exploración geoquímica en sus modalidades de litogeoquímica y geoquímica de suelos.

La litogeoquímica se ha realizado en calicatas de exploración en el área de Monteviejo y en determinados niveles litológicos, con objeto de comprobar si estaban enriquecidos en oro (mineralizaciones estratoides), o bien la mineralización está exclusivamente relacionada con venas.

Por otra parte, se ha realizado una campaña de geoquímica de suelos en un área al Oeste de La Portilla que ha puesto de manifiesto alguna anomalía de interés.

Los mapas de isocontenidos (contornos) se han obtenido por dos métodos: el algoritmo de malla del inverso de la distancia de cada punto, y mediante interpolación por Kriging para estudiar los efectos direccionales de las anomalías resultantes.

7.- TRABAJOS DE EXPLORACION REALIZADOS

7.1.- Litogeoquímica en Calicatas (Area de Monteviejo)

Se han aprovechado las calicatas realizadas por INGEMISA para el Proyecto del ITGE: "*Continuación de la Prospección y Exploración de oro en el área de La Codosera*", que fueron de gran interés por la información geológica y minera que suministraron. Por una parte, se han podido delimitar y seguir aquellas estructuras susceptibles de contener mineralización aurífera ("Bandas" mineralizadas), y por otra, se han realizado desmuestres de litogeoquímica, con objeto de comprobar la existencia de determinados niveles litológicos enriquecidos en mineralización de oro, o bien determinar si la mineralización está exclusivamente relacionada con las venas y estructuralmente controlada.

Una de las zonas de comprobación fué la de Monteviejo (Fig.7.1, original en Tomo III Planos), donde se muestrearon las calicatas VII, XXVB, XXVI, XXVIII, XXVIIIIB, XXXI, LIX y LX. El muestreo se realizó en roca fresca, y se tomaron muestras representativas, de unos 50Kg de peso cada una. La situación de las muestras y el mapa de isocontenidos puede verse en las Figs. 7.2 y 7.3.

Se han generado ficheros X,Y,G, (Anexo 2, Tomo II de esta memoria), donde X e Y son las coordenadas de los puntos y G es el contenido en Au de los mismos. Los datos se han introducido en el módulo GRIDZO del Programa Rockware y se han obtenido los mapas de contornos (Figs. 7.2, 7.3, 7.7 y 7.8).

El contorneo de los puntos se ha realizado por dos métodos. El primero es utilizando el algoritmo de malla del inverso de la distancia al cuadrado de cada punto. En este método, el valor de cada punto (nodo) de la malla tiene un "peso" medio o área de influencia de una serie de puntos próximos (hasta 9 puntos). El valor de cada punto es ponderado, de acuerdo con el inverso de su distancia a cada punto de la malla, con un determinado factor exponencial. A mayor valor del exponente, los puntos mas distantes tendran menor influencia que los más cercanos en el valor asignado a la malla. En la obtención de los mapas de contornos del área de La Codosera se ha utilizado un valor exponencial de 2.0 y el número de puntos utilizados en la interpolación ha sido 6.

El segundo método de interpolación para la construcción de los mapas de contornos ha sido por Kriging. La ventaja de este método con respecto al primero es que se pueden estudiar los efectos direccionales en los mapas de contornos resultantes. El método de Kriging se basa en que la distribución espacial de un conjunto de datos, en relación con una estructura geológica de cualquier tipo, ni es completamente al azar ni completamente determinista. Esto significa que el valor de un punto desconocido puede estimarse por los puntos cercanos, pero el punto desconocido no es necesariamente ni completamente dependiente de los valores de los puntos conocidos.

La variabilidad es función de dos factores: la distancia y la dirección. En general, los puntos próximos tienden a mostrar menor variabilidad que los puntos lejanos, y además, algunos puntos según determinadas direcciones muestran menor variabilidad que los equidistantes según diferentes direcciones.

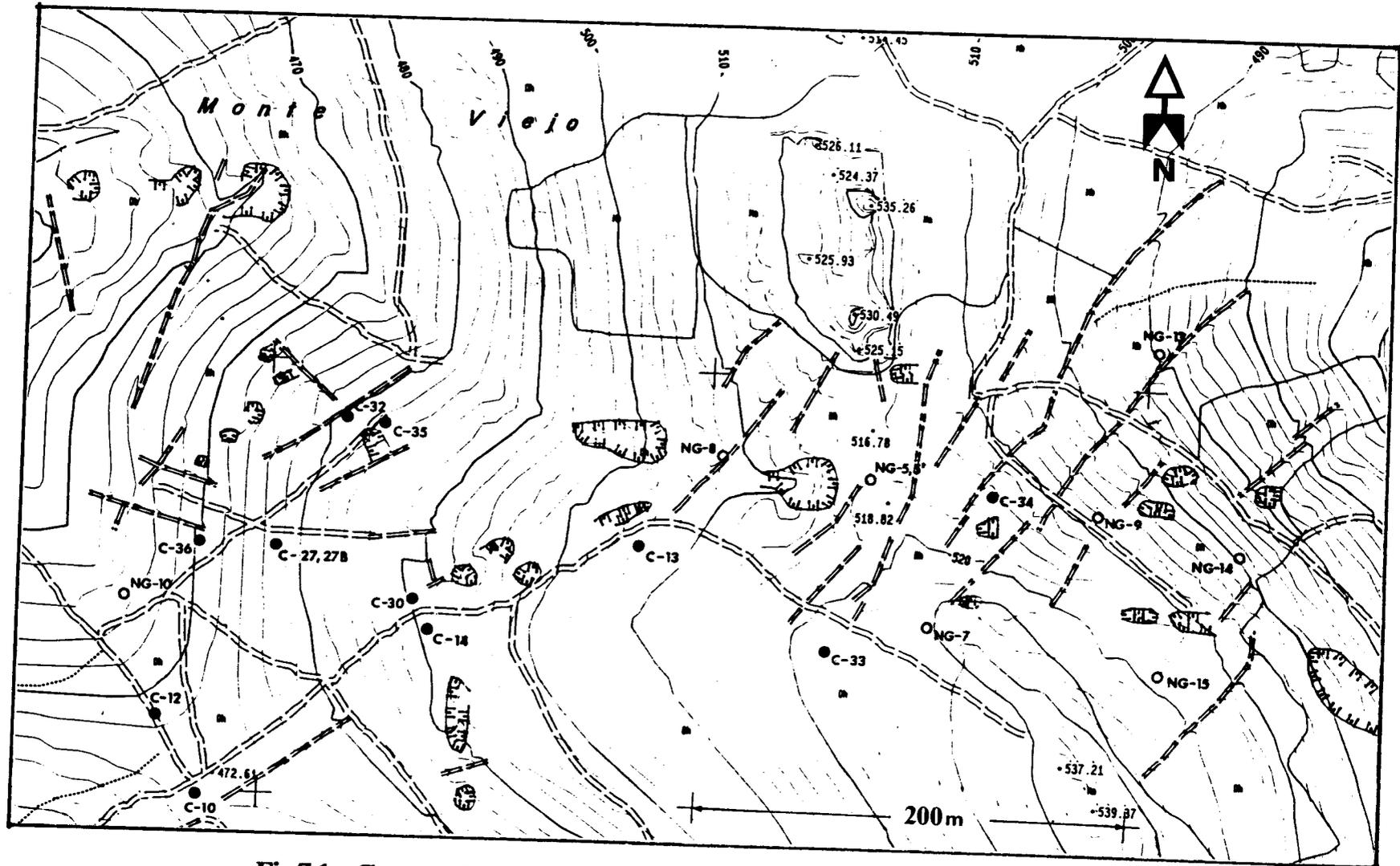
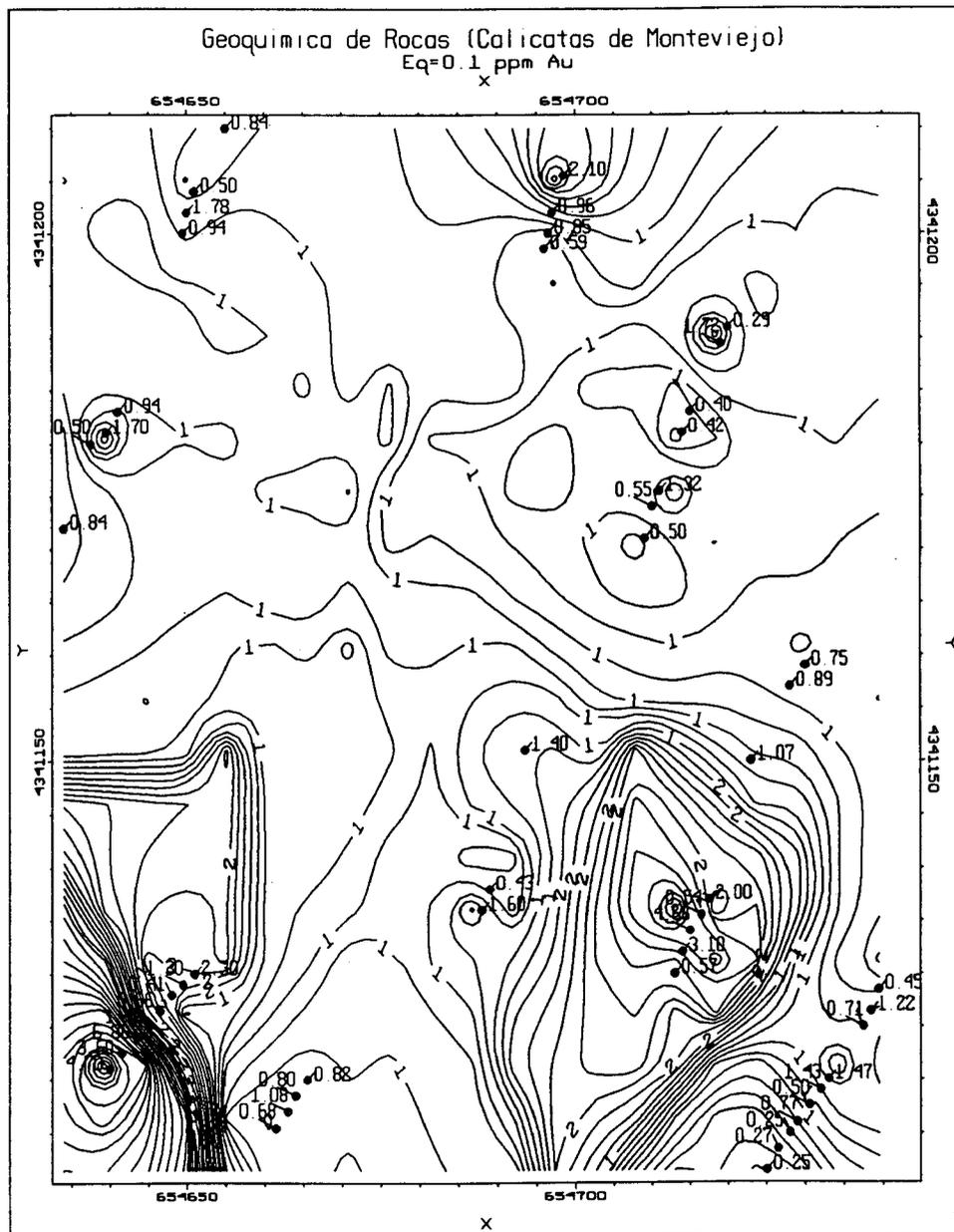
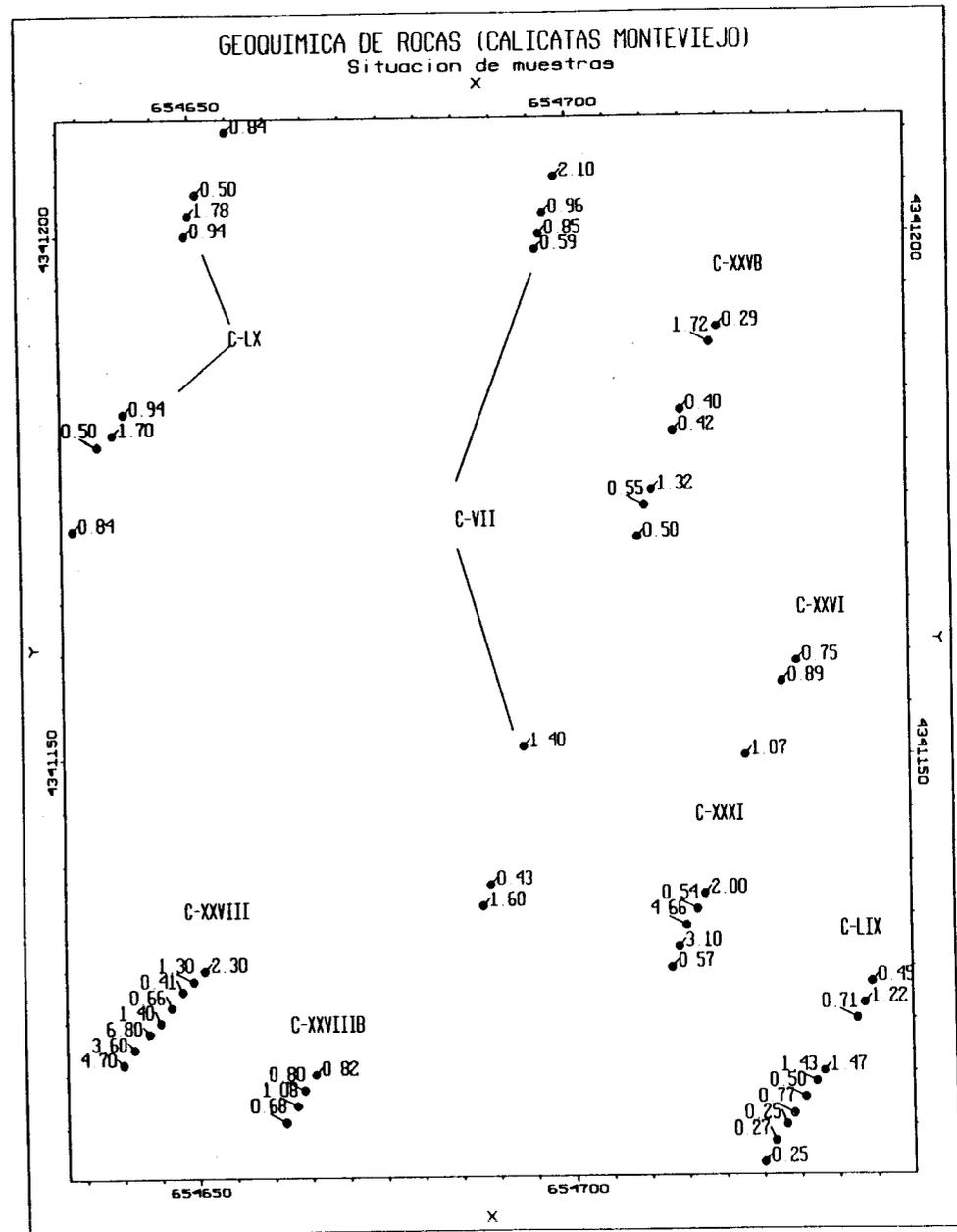
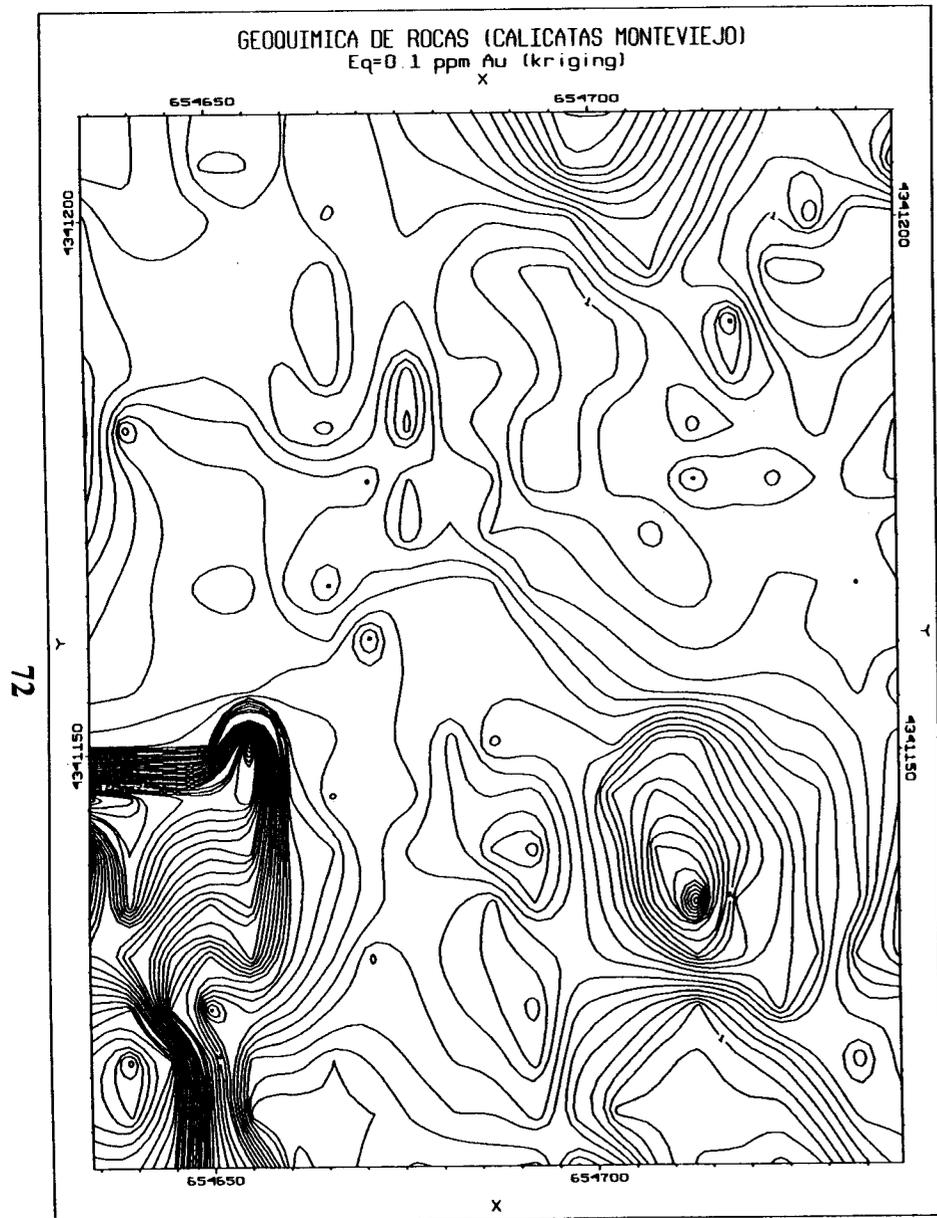


Fig.7.1.- Geoquímica de rocas en Calicatas del área de Monte Viejo. Situación de las calicatas.



**Fig. 7.2.- Geoquímica de Rocas en calicatas (Area de Monteviejo, La Codosera)
Mapa de Contornos (Eq=0.1ppm Au)**



72

Fig. 7.3.- Geoquímica de Rocas en calicatas (Area de Monte Viejo, La Codosera)
Mapa de Contornos (Eq=0.1ppm Au). Método de cálculo por kriging.

La variabilidad entre puntos según la distancia, en una determinada dirección puede expresarse gráficamente mediante variogramas. Por consiguiente, el primer paso en este método de interpolación es la creación de los correspondientes variogramas (Fig.7.4). Como el kriging es un análisis direccional de los datos, hay que especificar cuantas direcciones se van a analizar. Por ejemplo, con un valor de 45° , se analizan los datos según 4 direcciones ($180/45=4$), en los cuadrantes NW,NE,SE y SW. Igualmente, hay que considerar un grado de tolerancia a ambos lados de cada dirección, que suele ser un radio de búsqueda de 10° a cada lado de la dirección considerada. Así mismo, además de la búsqueda direccional, hay que considerar un incremento de distancia radial (que suele ser 10) y una zona de tolerancia alrededor de cada incremento, que ensancha el área de búsqueda.

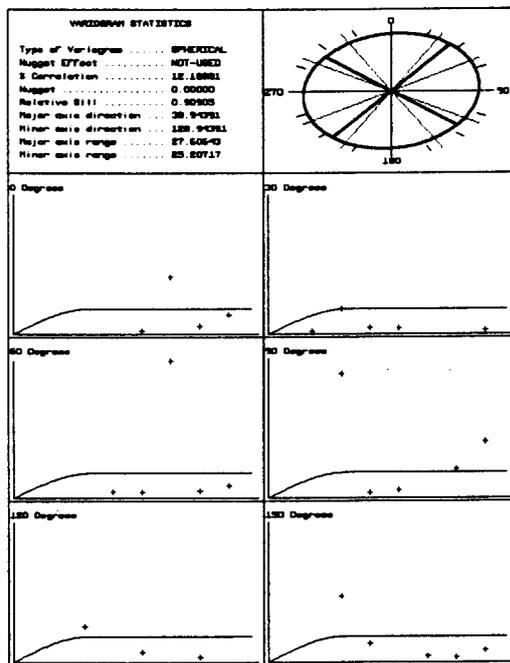
En la construcción de los variogramas, el Programa crea un fichero de valores normalizados para cada punto y comienza una búsqueda direccional para cada punto en las direcciones consideradas (anteriormente se han especificado con su zona de tolerancia, a incrementos de distancia específicos). Finalmente, el programa calcula la varianza entre los puntos originales y los encontrados en las direcciones de búsqueda. Una vez calculadas las varianzas de todos los puntos en las direcciones consideradas, se obtiene el variograma para cada dirección.

Uno de los factores determinantes en los variogramas es el **rango**, es decir la distancia en la que hay influencia de un punto sobre otro en una determinada dirección. Posteriormente, para cada variograma se obtienen una serie de coeficientes que son utilizados para generar el correspondiente mapa de contornos. Para seleccionar el variograma que mejor se ajuste al conjunto de datos estudiados, se atiende al mayor porcentaje de correlación, y finalmente, otro factor a considerar es el efecto "pepita" que suministra información sobre el error en el conjunto de datos o en los puntos de control.

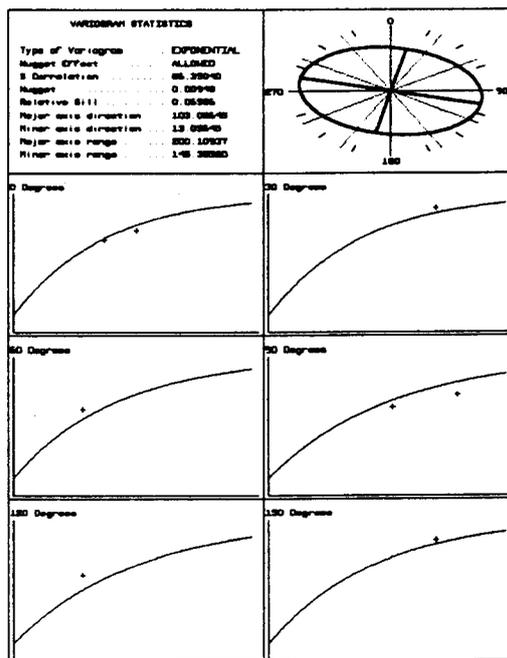
En definitiva, el método de interpolación por Kriging es el que determina el peso o influencia de cada punto, minimizándose el error de estimación de la malla, pues se basa en los variogramas obtenidos, y además suministra información sobre el efecto de influencia direccional de los puntos.

Los tipos de variogramas obtenidos han sido, esférico para los valores de litogeoquímica de Monteviejo (Fig.7.4/1), y exponencial (Fig.7.4./2) para los valores de geoquímica de suelos del Oeste de La Portilla. De la interpretación del primero (Fig.7.4/1) se desprende que existe una gran variabilidad, con una gran varianza de datos en direcciones a $N45^\circ E (+/-10^\circ)$ y $225^\circ (+/-10^\circ)$. Por tanto, no existe un efecto direccional, al menos claramente manifiesto, y el rango de influencia entre puntos es de 27.6m en una dirección $N39^\circ E$ y 25.2m en $N129^\circ E$.

Como puede observarse en la litogeoquímica realizada en las calicatas de Monteviejo (Figs. 7.2 y 7.3) se observan fuertes anomalías de Au, principalmente en las calicatas XXVIII (con contenidos de hasta 6.8ppm de Au) y XXXI (con contenidos de hasta 4.66ppm de Au). La equidistancia entre las curvas es 0.1ppm de Au. En los mapas de contornos hay una dispersión de contenidos de Au en toda la zona considerada, con anomalías en varios puntos. Por esta razón, se ha realizado otro mapa de contornos mediante el método de interpolación por Kriging, cuyo resultado es semejante, si bien



1)



2)

Fig.7.4.- Variogramas para el método de interpolación por Kriging
1) Geoquímica de rocas (Area de Monteviejo)
2) Geoquímica de suelos (Area Oeste de La Portilla)

en el último las curvas de isocontenidos aparecen más suavizadas. Pero lo más importante, es la confirmación de que en el área delimitada por las calicatas consideradas la distribución de contenidos Au es muy variable, no existiendo ningún efecto direccional (variograma de la Fig.7.4/1).

7.2.- Litogeoquímica en sondeos

Dada la importancia y el número de muestras analizadas para Au (2400 muestras) en los testigos de sondeos que se han hecho en esta investigación, el capítulo 8 y el anexo 5 (Volumen II) de esta memoria se refieren específicamente a los mismos.

7.3.- Litogeoquímica en niveles específicos

Por otra parte y como complemento, se ha realizado una litogeoquímica de aquellos niveles de especial interés, como por ejemplo brechas y areniscas ferruginosas, cuarcitas con o sin veining de cuarzo y pizarras negras. El objeto era comprobar si los elevados contenidos de Au que, a veces, se observan (por ejemplo, hasta 8 g/t Au en el sondeo CODO-24, capítulo 8) son propios de las rocas, de forma que, estos niveles con indicios de oro pudieran considerarse estratoides, o por el contrario son horizontes que han sufrido impregnación y un cierto grado de reemplazamiento.

El desmuestre fué realizado en dos fases; una primera estratégica (muestras 1-28) y otra táctica (muestras 29-64) en el área de La Casa de La Niña-Barrancones (Fig. de situación de sondeos y muestras en Tomo III -Planos- de esta memoria). De forma complementaria se han tomado muestras de diferentes litologías en superficie y en testigos de sondeos (Tabla I, Figs.7.5 y 7.6).

Aunque no se tienen suficientes datos como para descartar completamente la posible existencia de algún nivel enriquecido en oro de forma primaria, que fuera realmente de tipo estratoide ("stratabound") en algún sector, los conocimientos que actualmente se poseen apuntan a que los valores anómalos de oro en las brechas ferruginosas y en las cuarcitas con intenso veining de cuarzo están siempre asociados a venas. Los histogramas de frecuencia realizados para las muestras de superficie (Fig.7.5) y de testigos de sondeos (Fig.7.6) demuestran que el contenido medio en Au de las cuarcitas con veining de cuarzo, en superficie (0.62ppm Au) y en sondeos (0.49ppm Au) es muy superior al de las cuarcitas sin veining (0.008 y 0.018).

El contenido medio de oro en las brechas ferruginosas analizadas es algo más elevado (0.048ppm Au), sin considerar el de algunas brechas constituidas por fragmentos de cuarzo filoniano y matriz ferruginosa, en las que a veces, es posible distinguir el oro a simple vista, siempre asociado a los fragmentos de cuarzo filoniano y, en ocasiones, de grano muy fino y diseminado en la matriz. Estas brechas (auríferas) tienen un contenido medio de 1.095ppm, con valores hasta de 3.73ppm de Au.

Las litologías pizarrosas, en particular las pizarras negras analizadas tienen un contenido medio de 0.005ppm de Au, que coincide con el límite de detección y únicamente cuando presentan veining de cuarzo muestran contenidos algo superiores, hasta 0.15ppm, con una media de 0.084ppm de Au.

TABLA I- LITOGEOQUIMICA DE NIVELES ESPECIFICOS

1				
Cuarc.	Qvein/Cuar	Fe-Brechas	Au-Brechas	
0.005	0.065	0.005	0.608	
0.005	0.043	0.005	0.565	
0.005	0.045	0.005	0.391	
0.005	0.13	0.13	2.215	
0.005	0.108	0.087	0.805	
0.005	3.3	0.086	0.857	
0.005	0.174	0.043	0.218	
0.014	0.13	0.108	0.128	
0.015	0.085	0.005	1.714	
0.015	0.043	0.005	0.643	
-	4.24	0.042	1.27	
-	0.028	0.057	3.73	
-	0.014	-	-	
-	0.016	-	-	
-	0.014	-	-	
-	0.014	-	-	
-	0.045	-	-	
-	0.028	-	-	
-	0.025	-	-	
-	0.157	-	-	
-	0.025	-	-	
-	0.214	-	-	
-	0.3	-	-	
-	2.315	-	-	
-	0.443	-	-	
-	0.128	-	-	
-	4.686	-	-	
2				
Cuarc.	Qvein/Cuar	Fe-Brechas	Pizarras	Piz./Qvein
0.005	0.53	0.005	0.005	0.005
0.005	0.48	0.005	0.005	0.005
0.005	0.47	0.026	0.005	0.005
0.005	0.48	0.026	0.005	0.005
0.005		0.005	0.005	0.015
0.05		0.026	0.005	0.015
0.05		0.0125	0.005	0.015
-	-	0.0125	0.005	0.11
-	-	0.01	0.005	0.11
-	-	0.0125	-	0.15
-	-	0.0125	-	0.15
-	-	-	-	0.15
-	-	-	-	0.15
-	-	-	-	0.15
-	-	-	-	0.153
-	-	-	-	0.153
-	-	-	-	0.153
-	-	-	-	0.025

Contenidos de Au (ppm). 1) Muestras en Superficie. 2) Muestras de Sondeos

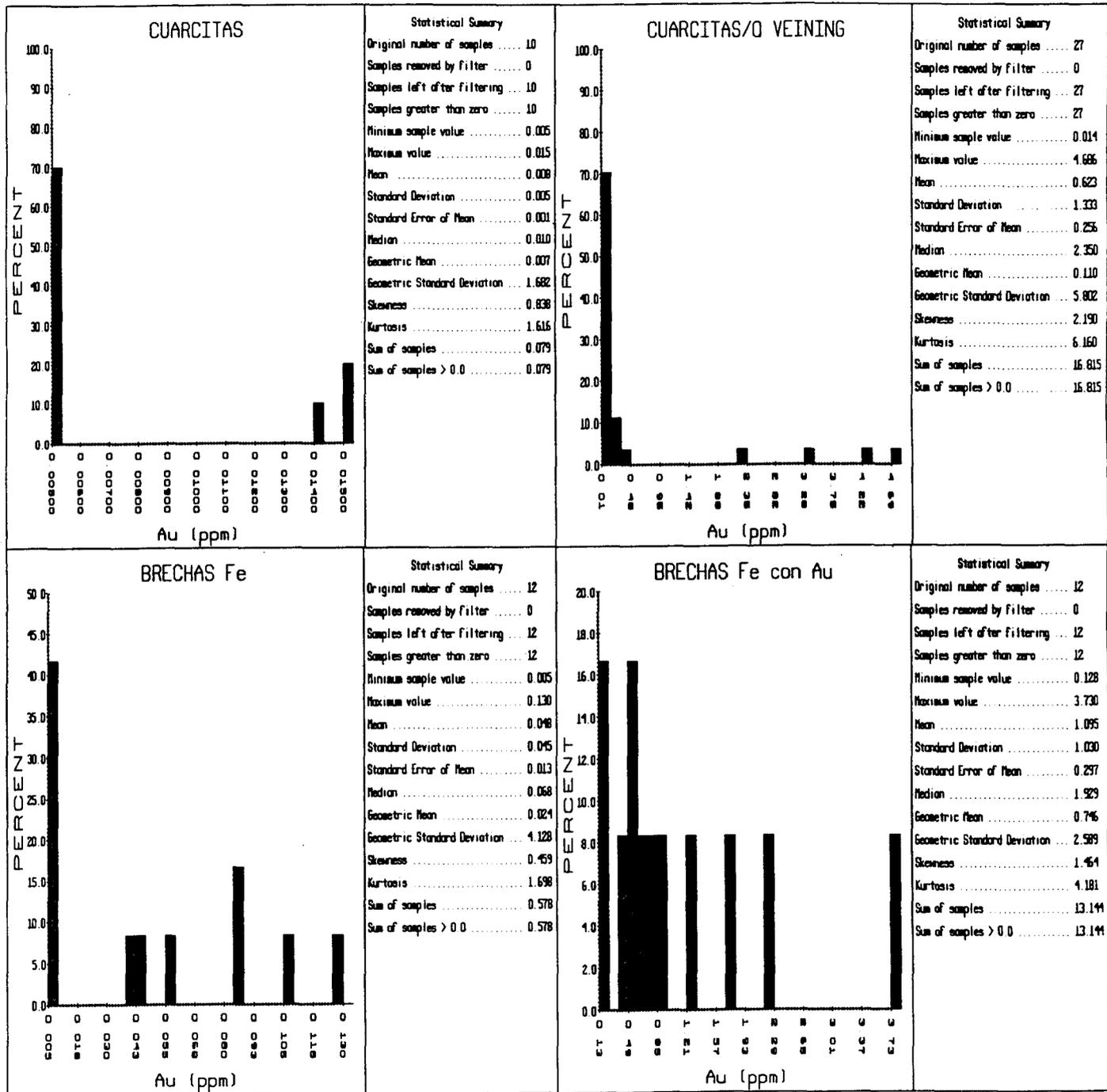


Fig 7.5.- Histogramas de frecuencia de contenidos de Au según litologías en desmuestras superficiales.

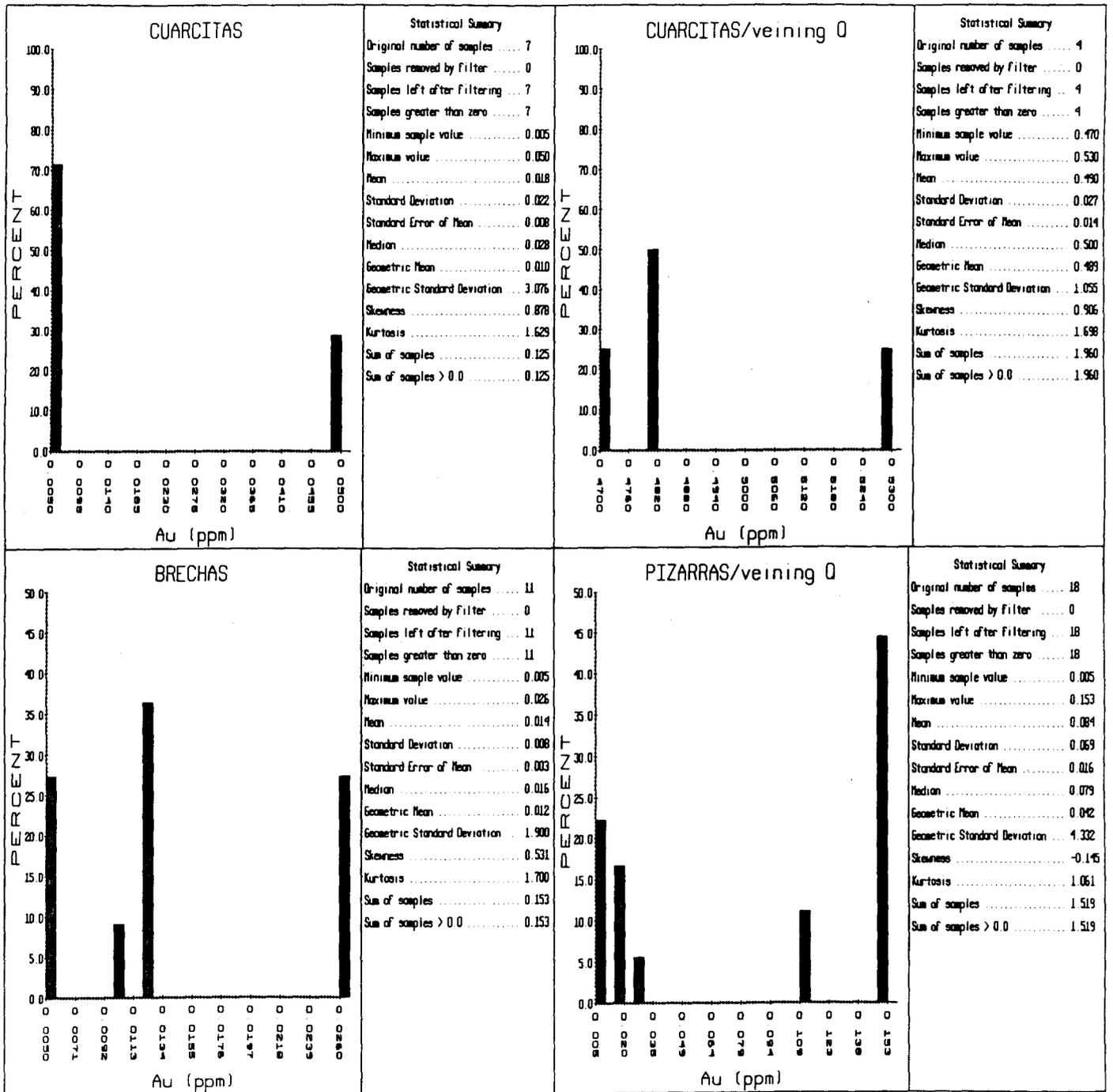


Fig 7.6.- Histogramas de frecuencia de contenidos de Au según litologías en desmuestras en testigos de sondeos.

Por consiguiente, y aunque sería necesario un mayor número de muestras, y análisis seriados de los niveles de interés para estudiar su variabilidad, los datos que se poseen apuntan a considerar que los contenidos de Au elevados están en relación con las venas. Cuando se trata de brechas, los contenidos de oro igualmente son elevados, sobre todo cuando están constituidas por fragmentos de las venas. En realidad, son zonas filonianas brechificadas (probablemente se trata de brechificaciones hidráulicas, - capítulos 5 y 6 - de esta memoria).

Los elevados contenidos de Au en algunas rocas, como brechas y cuarcitas con veining de cuarzo, pueden ser debidos a la impregnación de rocas porosas por las soluciones mineralizadoras que circulan a través de la red de microfisuras abiertas (fracturación hidráulica). La fracturación y propagación de las fisuras abiertas en rocas cuarcíticas en condiciones crustales es compleja, los mecanismos que intervienen varían desde, fracturación intragranular a transferencia de masa por difusión y plasticidad cristalina a baja temperatura.

La fracturación inicialmente se produce vía extensión intragranular, debido a la concentración de esfuerzos de cizalla en los límites de granos. Las microfisuras se unen (linkage) aumentando así la propagación y dando lugar a la formación de brechas y cataclasitas (Lloyd y Knipe, 1992). Todo esto suele suceder en medios hidráulicamente activos. Si los fluidos que circulan en ese medio llevan un determinado contenido mineral (en este caso Au), y si las condiciones son favorables se puede producir deposición de metales.

Por consiguiente, en la concentración mineral intervienen entre otros, factores físico-químicos (pH, Eh, etc.) y estructurales (zonas de dilatación en determinadas fallas de extensión) que pueden dar lugar a bolsadas en venas o filones, y desarrollo acompañante de fracturación e impregnación de las rocas encajantes.

7.4.- Geoquímica de suelos en el Oeste de La Portilla

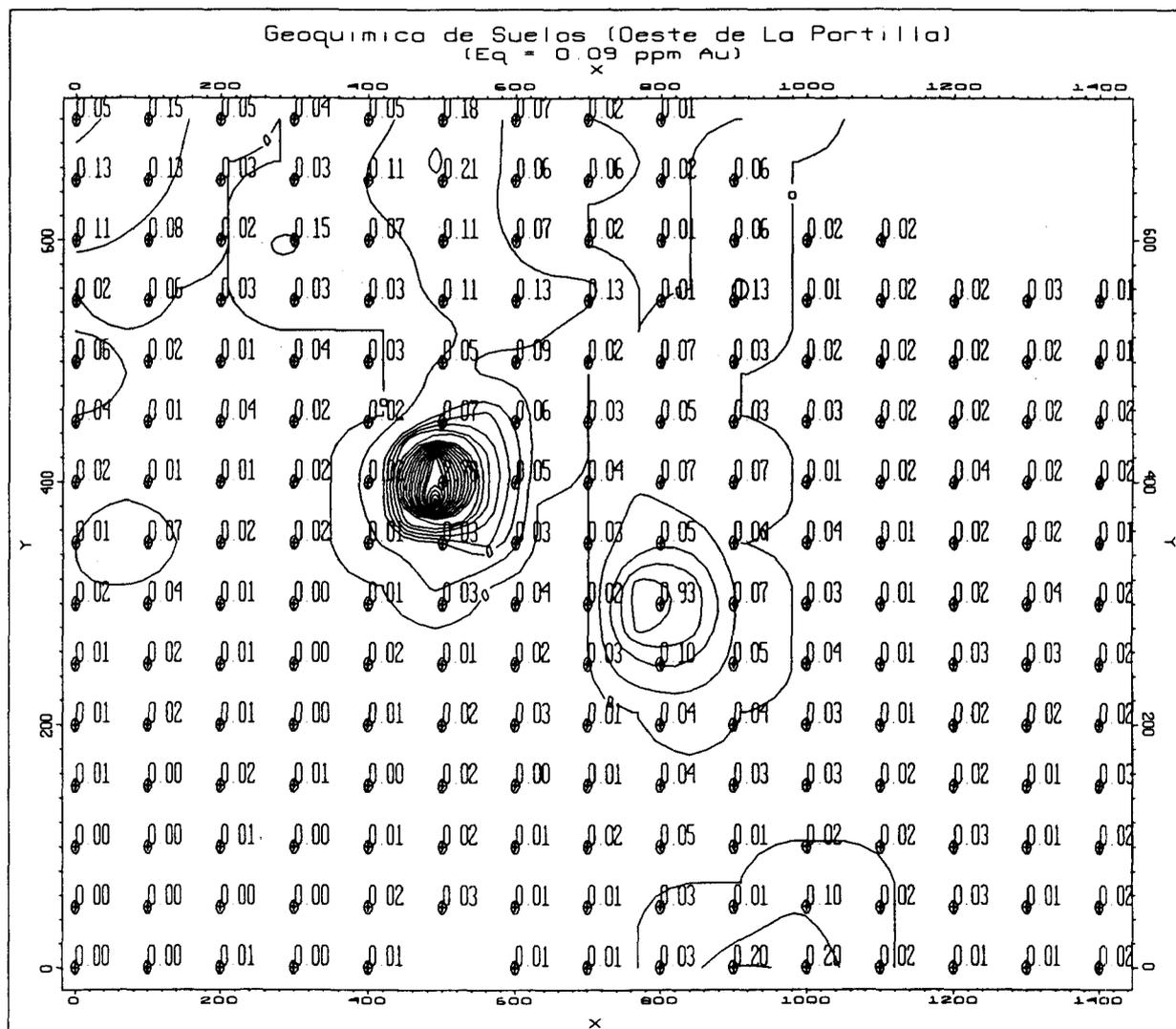
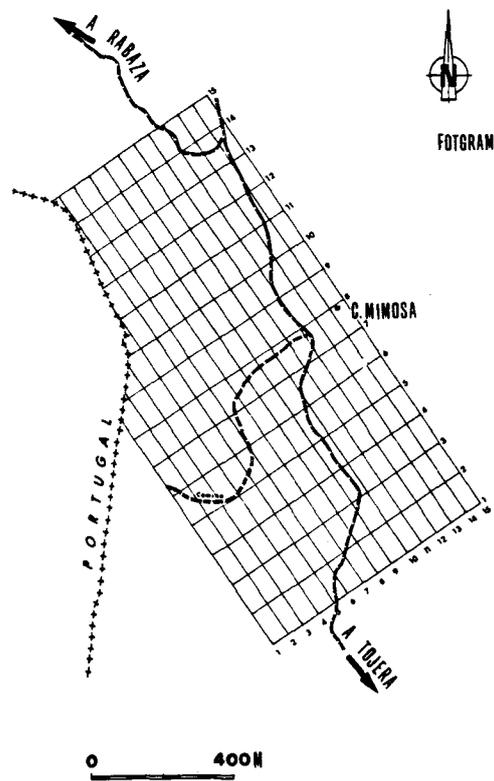
Se han realizado campañas complementarias de geoquímica de suelos en aquellas zonas que habían quedado sin cubrir o insuficientemente investigadas en anteriores fases de exploración. Se han tomado 450 muestras de geoquímica de suelos, en malla de 50x50m distribuidas entre la zona de Monteviejo y Sierra de La Breña, después de realizado un replanteamiento sobre el terreno de las anteriores campañas de geoquímica de suelos realizada por el ITGE en fases previas de exploración.

Así mismo, equipos del ITGE han realizado una campaña estratégica de suelos en un área situada al Oeste de La Portilla, hasta la frontera con Portugal. Se han tomado 200 muestras en una malla de 100x50m (Figs.7.7 y 7.8). La muestra se tomó en el horizonte edáfico C, en el contacto con el "bed-rock", y de un tamaño suficientemente representativo (5kg de media), normalmente utilizado en este tipo de desmuestres.

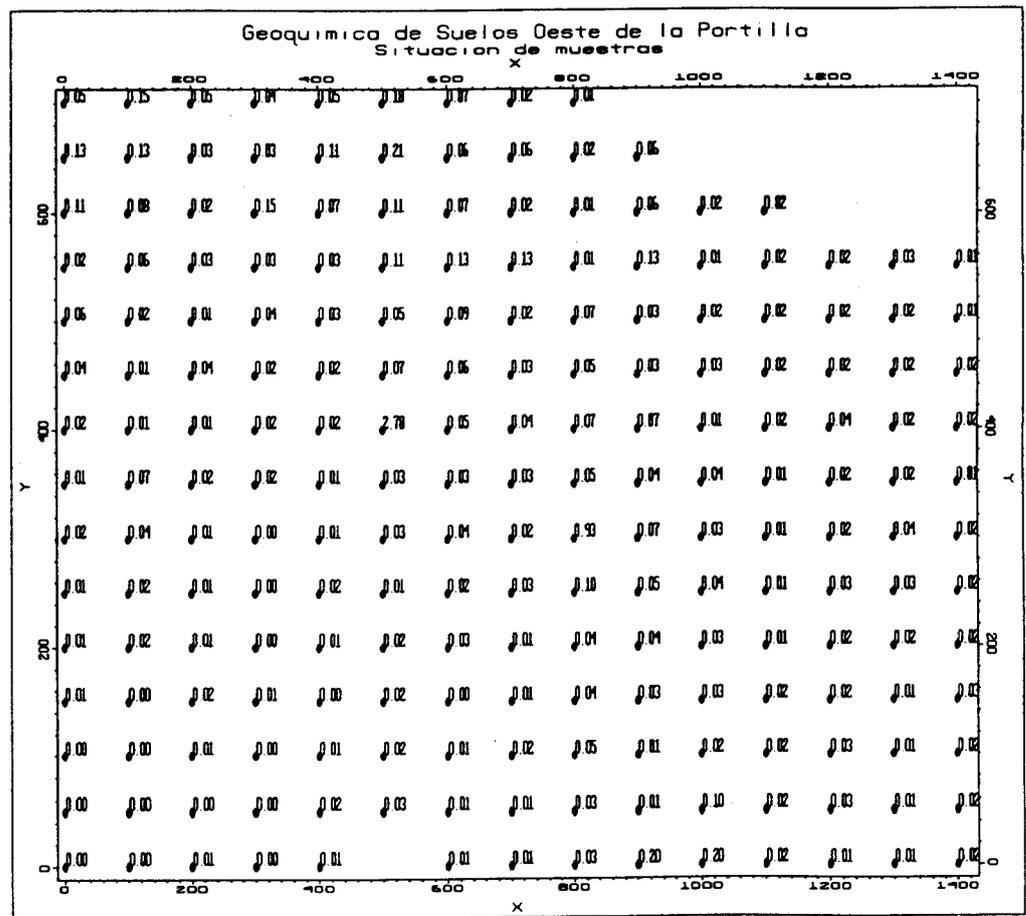
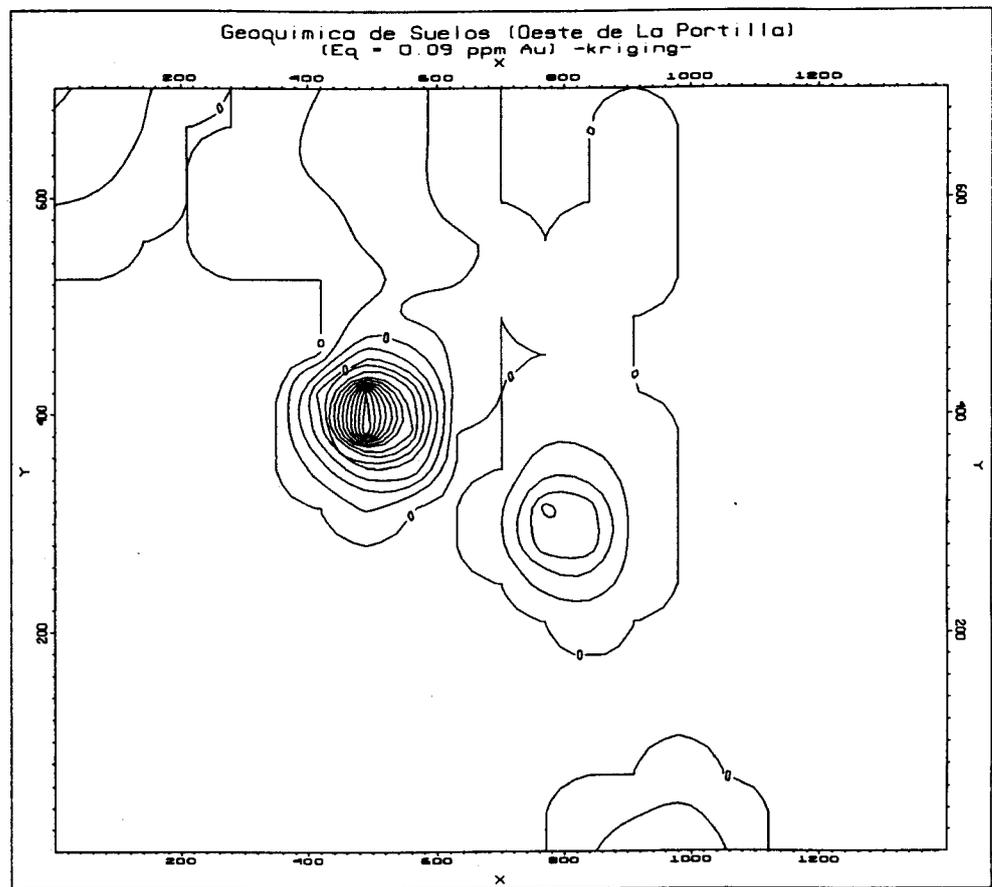
En el mapa de contornos del área Oeste de La Portilla (Fig.7.7) se observan dos anomalías, con contenidos de oro hasta de 2.78ppm de Au en la más occidental. Con objeto de comprobar el efecto direccional de dichas anomalías, además del mapa de contornos generado mediante el método de interpolación del inverso de la distancia de cada punto (Fig.7.7), se ha realizado otro mediante el método de Kriging (Fig.7.8). En este último se pone de relieve el efecto direccional de las anomalías. En el variograma correspondiente (Fig.7.4/2) de tipo exponencial, se observa como el rango del eje mayor de la elipse, en el que hay menor variabilidad de puntos, es de 200m según la dirección N103°E, con un 86.3% de correlación. El efecto direccional de esta orientación (NNW-SSE - orientación real - por la situación de la malla - Fig.7.7 -), puede ser difícil de interpretar, no obstante, coincide con una de las direcciones metalogénicas preferentes, definidas por las fallas antitéticas mas norteadas NNW-SSE (Capítulo 5).

Por consiguiente, el efecto direccional de las anomalías geoquímicas obtenidas en el mapa de contornos del área Oeste de La Portilla, puede ser debido a una falla en dirección NNW-SSE que pudiera albergar una determinada mineralización aurífera, cuya importancia en profundidad y en extensión no ha sido todavía valorada en esta fase de la investigación.

En base a los resultados obtenidos a partir de estas campañas de geoquímica, en las áreas anómalas se realizaron calicatas que fueron muestreadas para su posterior análisis químico de oro. Los resultados analíticos, junto con el reconocimiento geológico de las calicatas y anomalías, sirvieron para desechar áreas con resultados negativos y para seleccionar aquellas de interés que posteriormente fueron comprobadas mediante sondeos mecánicos, o bien son zonas a comprobar en fases posteriores de la investigación.



**Fig.7.7.- Geoquímica de Suelos (Area Oeste de La Portilla, La Codosera)
Mapa de Contornos (Eq=0.09ppm Au)**



**Fig.7.8.- Geoquímica de Suelos (Area Oeste de La Portilla, La Codosera)
Mapa de Contornos (Eq=0.09ppm Au). Método de interpolación por Kriging.**

CAPITULO 8

CAPITULO 8.- SONDEOS REALIZADOS POR EL ITGE

En este capítulo se presenta el análisis de los testigos de sondeos que el ITGE ha realizado en el flanco sur del Sinclinal de La Codosera, con objeto de conocer la tipología de las mineralizaciones de oro que allí se encuentran, y de valorar en lo posible su potencial minero.

En la testificación de los sondeos se han levantado los correspondientes logs de detalle de los testigos, teniendo en cuenta aquellos aspectos físicos, geológicos y estructurales de interés, así como los metalogénicos y mineros, con especial incidencia en la presencia de venas y sus relaciones angulares con la estratificación y el eje del sondeo. Finalmente, se ha utilizado la observación de "visu" de minerales y de forma especial, 2400 análisis químicos de oro que se han realizado de los intervalos de los testigos que presentaban mayor interés.

Del mismo modo, a la testificación rutinaria de los sondeos se le han añadido datos de gran interés, en base al tipo de mineralizaciones investigado, como por ejemplo, medidas de potencia de venas, grado de apertura, porcentaje de venas individualizadas, veining de cuarzo en porcentajes, y finalmente, donde ha sido posible obtenerla se ha añadido la dimensión fractal, la cual será analizada con mayor detalle en el capítulo 10 de esta memoria.

Se ha efectuado un ensayo estadístico de los principales sondeos, con objeto de tener idea sobre la variación y distribución de contenidos de oro (así como potencias de venas) en los testigos.

Finalmente, se presentan cuatro paneles de correlación, en base a similitud de tramos litológicos y contenidos de oro. Las zonas seleccionadas para el ensayo de correlación son aquellas de las que se posee un mejor grado de conocimiento y un mayor número de datos, y en éstas es donde se ha realizado una modelización de contenidos de oro, lo que se aborda en el capítulo 10 de esta memoria.

8.- SONDEOS REALIZADOS POR EL ITGE

La exploración de mineralizaciones auríferas relacionadas con zonas de cizalla requiere un gran número de labores para poder caracterizar su potencial. Esto es así especialmente en los campos filonianos auríferos controlados por mecanismos de cizalla, debido a que la organización y distribución espacial de los diferentes sistemas filonianos es irregular y errática. Por esta razón, es necesario un gran número de labores, y en particular, de sondeos mecánicos para poder intentar correlacionar las áreas mineralizadas.

El ITGE ha realizado 6800m de perforación con recuperación de testigo continuo, (Fig. Mapa General de Situación de Sondeos, en Tomo III -Planos-), distribuidos de la siguiente forma; 5200m en los sondeos CODO-5 al CODO-36, 944m en la Casa de La Niña-Barrancones, y 672m en los sondeos T, (Tojera) para la exploración de la prolongación occidental de las "Bandas" mineralizadas de Monteviejo. La perforación se realizó con dos perforadoras, una Longyear 38 y una Kraelius 750.

8.1.- Testificación de sondeos/logs

La testificación de sondeos fué llevada a cabo, a pie de obra, o en la Planta de tratamiento de Aldea-Moret (Cáceres) sobre testigo húmedo, o cortado cuando era necesario. En dicha testificación se han tenido en cuenta todos los aspectos físicos rutinarios de interés, como diámetro de testigo, porcentaje de recuperación, etc., así como aspectos geológicos (litología, tramos especiales, por ejemplo brechas, graded-bedding, etc.), aspectos estructurales (relaciones entre estratificación y esquistosidad, lineaciones de intersección, ejes de pliegues, fallas etc.) y finalmente aspectos metalogénicos y mineros, con especial incidencia en la presencia de venas y sus relaciones angulares con la estratificación y el eje del sondeo, brechas con fragmentos de cuarzo filoniano, porcentaje de veining de cuarzo, es decir, estimación del porcentaje de venillas de cuarzo, que de forma irregular y reticular se encuentra principalmente en tramos de cuarcitas, y finalmente la observación de "visu" de minerales.

En la testificación de los sondeos que el ITGE ha realizado se han levantado los correspondientes logs de detalle de los testigos (Figs. 8/1,3,5,7,9,11,13,15,17,19,21,). Así mismo, se han levantado los logs de algunos sondeos que Ingemisa realizó para el ITGE en el Proyecto "*Continuación de la Prospección y Exploración de oro en el área de La Codosera*" (Figs. 8/23,24,25,26,27,28 y 29), con objeto de utilizarlos en la correlación de sondeos, y en la modelización de aquellas áreas con mayor potencial (Capítulo 10). Igualmente, se presentan los logs de los sondeos realizados por el ITGE en el paraje denominado C^a de La Niña-Barrancones (Figs. 8/30,31,33,34 y 35) cuyas expectativas justificaron la realización de los mismos, y aunque la mineralización aurífera es superficial, los sondeos se hicieron más profundos, con objeto de comprobar la existencia o no de la mineralización en profundidad, así como de mejorar el conocimiento litológico del área. Esto ha sido de interés en las correlaciones litológicas de sondeos.

Los logs de sondeos reflejan todos aquellos aspectos que puedan tener interés y sean significativos para el estudio de la variación y control de la mineralización aurífera. Los datos obtenidos de la inspección directa de los testigos, (testificación geológica, medidas de venas, etc.), así como los análisis químicos de oro, han sido informatizados, introduciéndolos en el módulo **LOGGER** del Programa **ROCKWARE**. Los ficheros de datos generados se presentan como Anexos de esta memoria (Anexos 4 y 5, Tomo II).

La primera columna (Figs. arriba mencionadas) es el contenido en Au (ppm) de los diferentes tramos químicamente analizados. Se han realizado muestreos exhaustivos de los tramos que podrían tener interés, en base al estudio detallado de los testigos, utilizando criterios como por ejemplo, el aumento del "veining" de cuarzo (cuarta columna de los logs), reconocimiento de minerales (arsenopirita) de visu, tramos con brechas, aumento del número de venas, etc. Se han realizado 2400 análisis de oro en los laboratorios de **LABORAL** (Almería). Estos laboratorios han sido contrastados, por el envío de algunas partidas a otros laboratorios, para verificar resultados. Se ha podido constatar que, estos laboratorios, además de realizar trabajos rápidos, que en el caso del oro es de gran importancia, puesto que la mineralización generalmente no se ve a simple vista, los análisis que realizan son rigurosos y alcanzan el control de calidad y precisión requeridos.

La segunda y cuarta columna (**%VENAS** y **VEINING DE CUARZO**) tratan de cuantificar el número de venas que se observan en el testigo, distinguiendo entre venas individualizadas, en la columna del **%** de venas, y el reticulado irregular de finas venillas que se ramifican, en la columna de veining de cuarzo. En la tercera (**% APERTURA**) y la sexta (**POTENCIA DE VENAS** en mm) columnas se han introducido los valores de espesores (en mm) y la suma de las potencias (**%apertura**) de las venas intersectadas en los diferentes tramos. La quinta columna (**D.FRAGMENTAL**) es la Dimensión fractal, la cual se ha introducido en los logs de rutina de los sondeos, pero tan solo se presenta en aquellos sondeos en los que esta dimensión se ha podido obtener. Este valor y su significado se discutirá posteriormente en el Capítulo 9.

La séptima columna es el porcentaje de **RECUPERACIÓN** del testigo, la octava es la **LITOLOGIA** y finalmente se presenta en la última una descripción breve y concisa de los principales tramos litológicos. La numeración de los tramos litológicos ha sido codificada, de forma que pueda ser utilizada como "Tramos-guía" en la correlación de sondeos (Figs. 8/36,37,38 y 39, apartado 8.3).

Como puede observarse en la mayoría de los logs (Figs. 8/1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21,), hay una relación directa entre el contenido en oro, el porcentaje de venas, el aumento en el veining de cuarzo y la potencia de las venas. Esta importante relación no implica que siempre que haya incremento en los anteriores factores (densidad de venas, veining de cuarzo y potencia de las venas) va a existir un aumento de contenido en oro, pero estos factores deben de cumplirse. De hecho, hay tramos con importante densidad de venas, junto con veining de cuarzo y apertura (suma de potencias de venas) que no tienen altos contenidos de oro. **Por consiguiente, son condiciones necesarias, pero no suficientes, para que haya un aumento del contenido en oro.**

En un tramo determinado de un sondeo que tiene altos contenidos relativos en oro, el aumento en la densidad de venas y la extensión del veining de cuarzo es muy considerable (ejemplo log del sondeo Codo-27, Fig.8.5). La interpretación de este hecho tan significativo es difícil y se insistirá en el modelo metalogénico, pero si conviene apuntar ya que, este aumento en la densidad de venas y el consiguiente veining de cuarzo está relacionado con el flujo de fluidos hidrotermales que circulan a través de las fracturas (fracturación hidráulica). Este aumento en la circulación de fluidos produce una especie de "preparación del terreno" (*ground preparation*, por ejemplo, en los yacimientos de tipo Carlin) y tiene una mayor dispersión (extensión) que la zona propiamente mineralizada. Respecto al aumento de la apertura (suma de potencias de las venas), éste está relacionado con la dilatación de las venas que tienen mayor espesor y con la propagación e interconexión de las fracturas en las rocas encajantes.

Por lo que se refiere a las rocas encajantes, aunque no existe ningún nivel específico que siempre tenga altos contenidos en oro (que pueda considerarse estratoide), si se pueden resaltar los siguientes aspectos; en primer lugar, los tramos de brechas ferruginosas con fragmentos de cuarzo filoniano, cuarcitas brechoides y tramos de alternancias de cuarcitas y pizarras, favorablemente presentan los más altos contenidos de oro. Este hecho puede ser debido a que, además de que estos determinados tramos favorecen el desarrollo, la interconexión y propagación de fracturas, también deben de ejercer un determinado control topoquímico de la mineralización. Las condiciones físico-químicas (Eh, pH etc.) de estos niveles deben favorecer la precipitación mineral, al paso de los fluidos mineralizadores. En segundo lugar, y esto es observable en los Paneles de correlación (Figs. 8/36,37,38 y 39), los tramos con mineralización aurífera se encuentran principalmente en los primeros 60m, desde la superficie, aunque también hay tramos mineralizados a mayores profundidades (Sondeos NG-7, NG-8, CODO-33 y NG-15, Figs. 8/37 y 8/38).

8.2.- Ensayo estadístico de los resultados.

Se ha realizado un ensayo estadístico de algunos resultados de análisis químicos de los contenidos de Au (ppm) en los intervalos considerados, o bien recalculados a intervalos de 2m. Igualmente, en aquellos testigos donde se han podido medir, se han obtenido datos sobre las potencias de las venas intersectadas (en mm), así mismo, en intervalos de 2m.

El objetivo del análisis estadístico ha sido tener una idea de la variación y distribución de contenidos de Au y potencias de venas en los intervalos considerados de cada testigo. Estos datos se han introducido en el módulo STAT del Programa ROCKWARE y se han generado histogramas de frecuencia (Figs. 8/2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 y 32) que representan la frecuencia relativa, en términos de porcentajes, de los contenidos de oro y potencias de venas en los intervalos de clase considerados.

Por otra parte, también se han realizado diagramas de frecuencia acumulada, en términos de probabilidad (Figs. 8/2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22 y 32), de los contenidos de oro y de las potencias de las venas intersectadas en los tramos o intervalos considerados. Estos diagramas determinan la probabilidad de aparición de determinados valores de una variable considerada, en este caso, el contenido en Au y la potencia de las venas. Igualmente, y con objeto de tener una idea sobre cual es, generalmente, la desviación típica de las muestras por encima o por debajo de las medias, se han realizado diagramas standarizados de algunos sondeos (Sondeos Codo-30, 33, 34 y 35, en las Figs.8/10,16,18 y 20). El resto de parámetros estadísticos puede observarse en el Anexo 5, Tomo II de esta memoria.

De los resultados obtenidos se desprenden las siguientes consideraciones; en todos los sondeos estudiados, las distribuciones de los contenidos de oro son exponenciales negativas, con un intervalo de clase muy dominante (generalmente 70%) con contenidos de Au menores de 1ppm. Este porcentaje se reduce algo (50-60%), al igual que aumentan ligeramente otros intervalos, si se consideran los contenidos de Au en intervalos de 2m de testigo, pero las distribuciones siguen siendo exponenciales. Los contenidos medios de los sondeos analizados oscilan entre 0.041 y 0.752ppm de Au (Anexo 5, Tomo II), con un valor medio de 0.29ppm. Igualmente, la desviación típica de los contenidos de Au oscila entre 0.12 y 2.34, con un valor medio de 1.02. En los diagramas estandarizados (Figs.8/10,16,18 y 20) se observa idéntica distribución exponencial negativa de los contenidos en Au y se pone de manifiesto que la mayoría de las muestras contienen contenidos de Au entre -0.2 y -0.4 desviaciones típicas por debajo de la media, y que son mucho menos frecuentes las muestras que, dependiendo de cada sondeo, sobrepasan de 1 a 9 desviaciones típicas la media.

Los diagramas de frecuencia acumulada (probabilidad), para los contenidos de oro, señalan claramente que siempre hay una alta probabilidad (aunque varía según los sondeos, entre 70 y 99.5%) de encontrar tramos con contenidos en Au menores de 0.01ppm (obsérvese el tramo de la curva que se hace paralelo o subparalelo al eje X de los diagramas de las Figs.8/2,4,6,8,10,12,14,16,18,20,22 y 32).

Siguiendo con el análisis de estos diagramas, en la mayoría de ellos, se observa una brusca ruptura con un tramo de curva de fuerte pendiente, hasta que aparece el último tramo, que generalmente es pequeño y que se pone otra vez paralelo o subparalelo al eje X. Esto demuestra que la probabilidad de encontrar contenidos altos de Au (mayores de 6ppm) es pequeña en la mayoría de los sondeos estudiados, no siendo frecuente encontrar muchos valores intermedios. En particular, los sondeos Codo-27 y 27bis son los más ricos, y concretamente el contenido medio de Au (0.75ppm), así como el valor máximo alcanzado (11.5ppm) en el Codo-27bis es superior al resto de los sondeos, (excepto el valor puntual de 20.25ppm del Codo-30, Figs. 8.9 y 8.10). El trazado de la curva de probabilidad del sondeo Codo-27bis es algo diferente a la de otros sondeos, en este caso es suave sinusoidal (Fig.8.6bis), y por ejemplo, hay casi un 10% de probabilidad de encontrar contenidos de Au superiores a 2ppm y un 2% de probabilidad de encontrarlos superiores a 8ppm. El sondeo Codo-27 (Fig.8.6) tiene un contenido medio en Au de 0.19ppm y el valor máximo alcanzado es de 6.11ppm. Observando la curva de probabilidad (Fig.8.6) se deduce que hay mas de un 20% de probabilidad de encontrar contenidos superiores a 0.1ppm de Au, probabilidad que se reduce a un 2% para encontrar valores superiores a 2.5ppm.

Las potencias de las venas presentan fuerte dispersión, y generalmente muestran distribuciones complejas, que oscilan entre distribuciones de tendencia log-normal (Sondeo Codo-32, Figs. 8/14) y en la mayoría de los casos, binomiales complejas (de tipo Poisson). Son numerosos los intervalos de clase y las potencias medias de las venas intersectadas en los sondeos estudiados oscilan entre 37.5 y 208mm (media 86mm). La dispersión en la distribución de las potencias de las venas se pone también de relieve por los elevados valores de la desviación típica (oscila entre 14.8 y 169, con una media de 75.5) en los sondeos estudiados.

El trazado de las curvas de los diagramas de probabilidad también refleja la anterior tendencia. A diferencia de las curvas de contenidos de oro, las de potencias de las venas son mas suaves, sinusoidales (Figs.8.6, 8.6bis), o mas quebradas (Figs.8.12, 8.14, 8.22), lo que implica que hay un mayor rango de probabilidad de encontrar diferentes espesores de venas.

Finalmente, con objeto de saber si los tramos de testigos analizados tienen suficiente representatividad y conocer su distribución, se han realizado histogramas de frecuencias y se ha comprobado que las distribuciones de los mismos son normales o de tendencia normal. El tramo medio muestreado tiene una longitud de 0.77m, es suficientemente representativo y las desviaciones típicas medias halladas son cercanas a 0.59.

LOG COD010. - CODOSERA

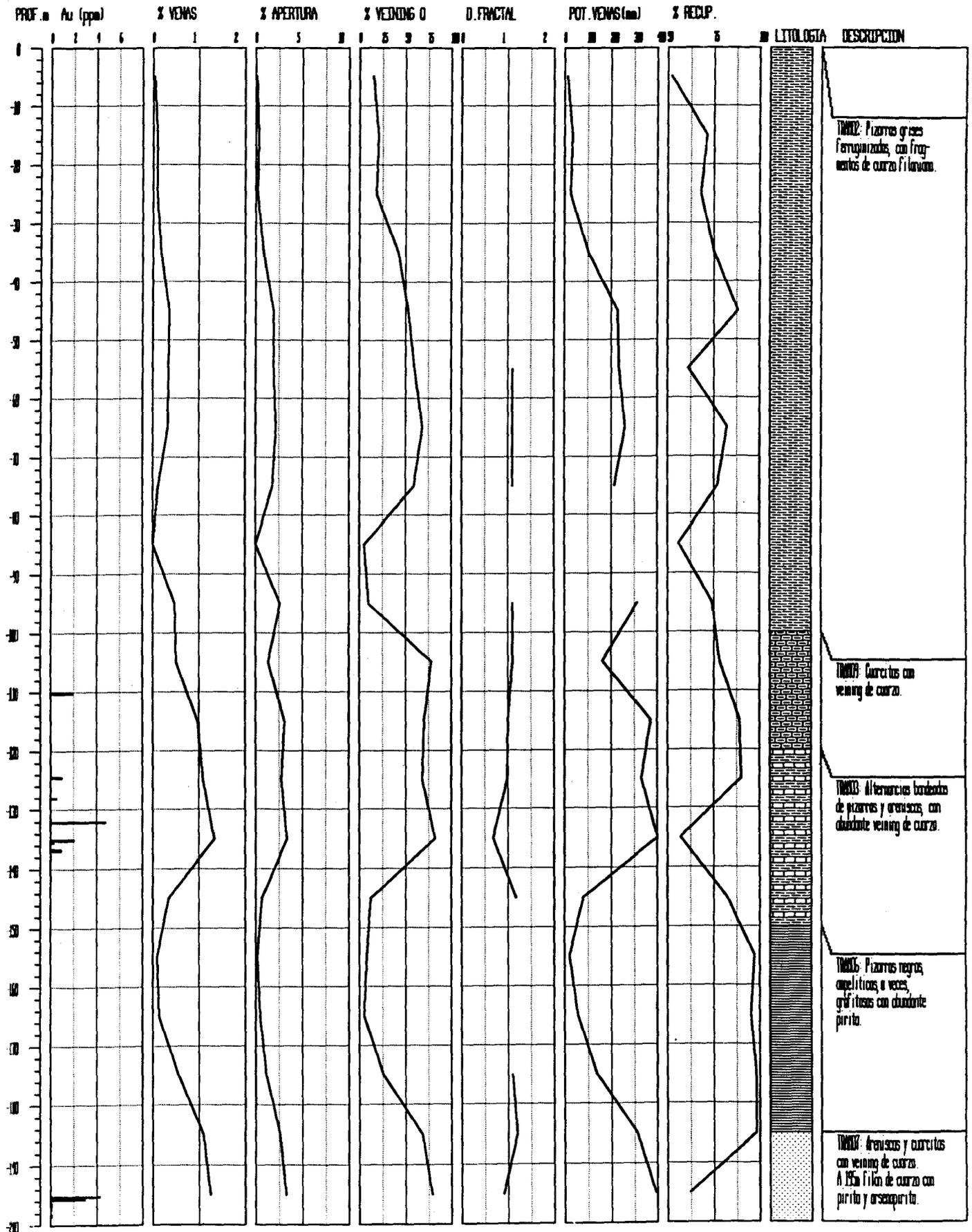


Fig.8.1.- Log del Sondeo Codo-10 (ITGE). Coordenadas X=654373, Y=4340999, Cota=477m, dirección N30°W /20°. Cerro de Los Algarbes, La Codosera.

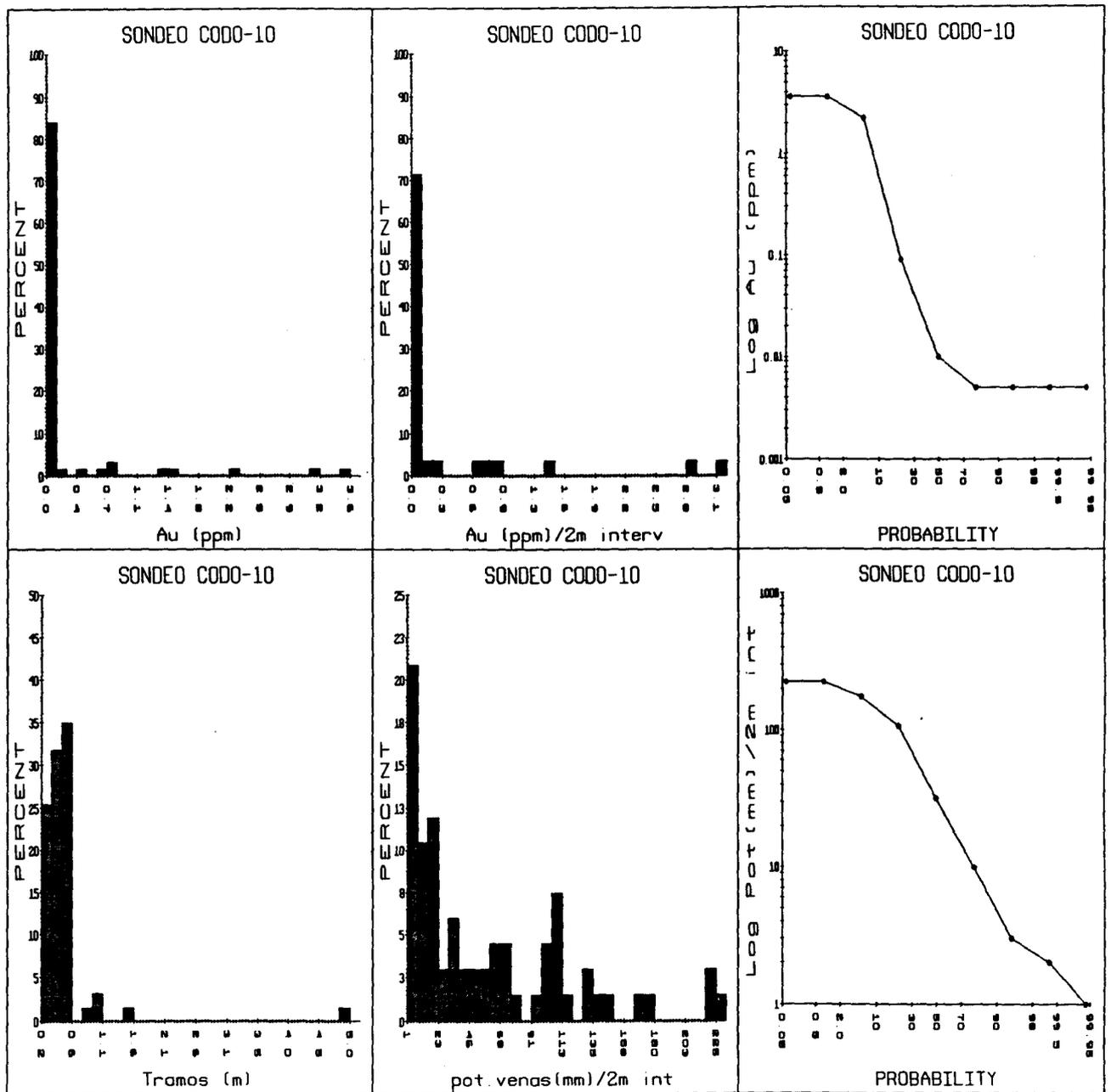


Fig.8.2.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-10 (La Codosera).

LOG CODO24. - CODO SERA

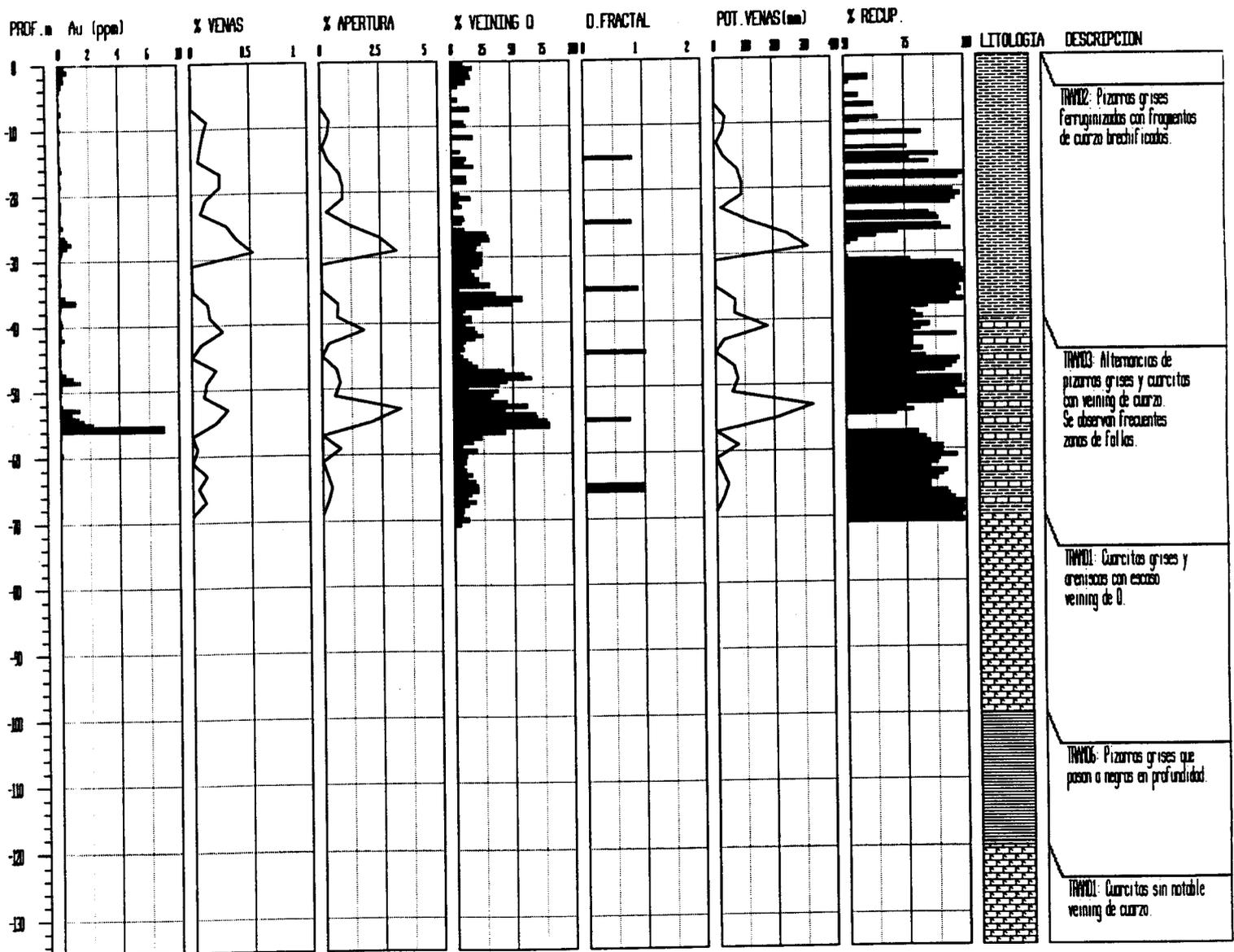


Fig.8.3.- Log del Sondeo Codo-24 (ITGE). Coordenadas X=652662, Y=4341665, Cota=481m, dirección N55°E /30°. La Portilla Oeste, La Codosera.

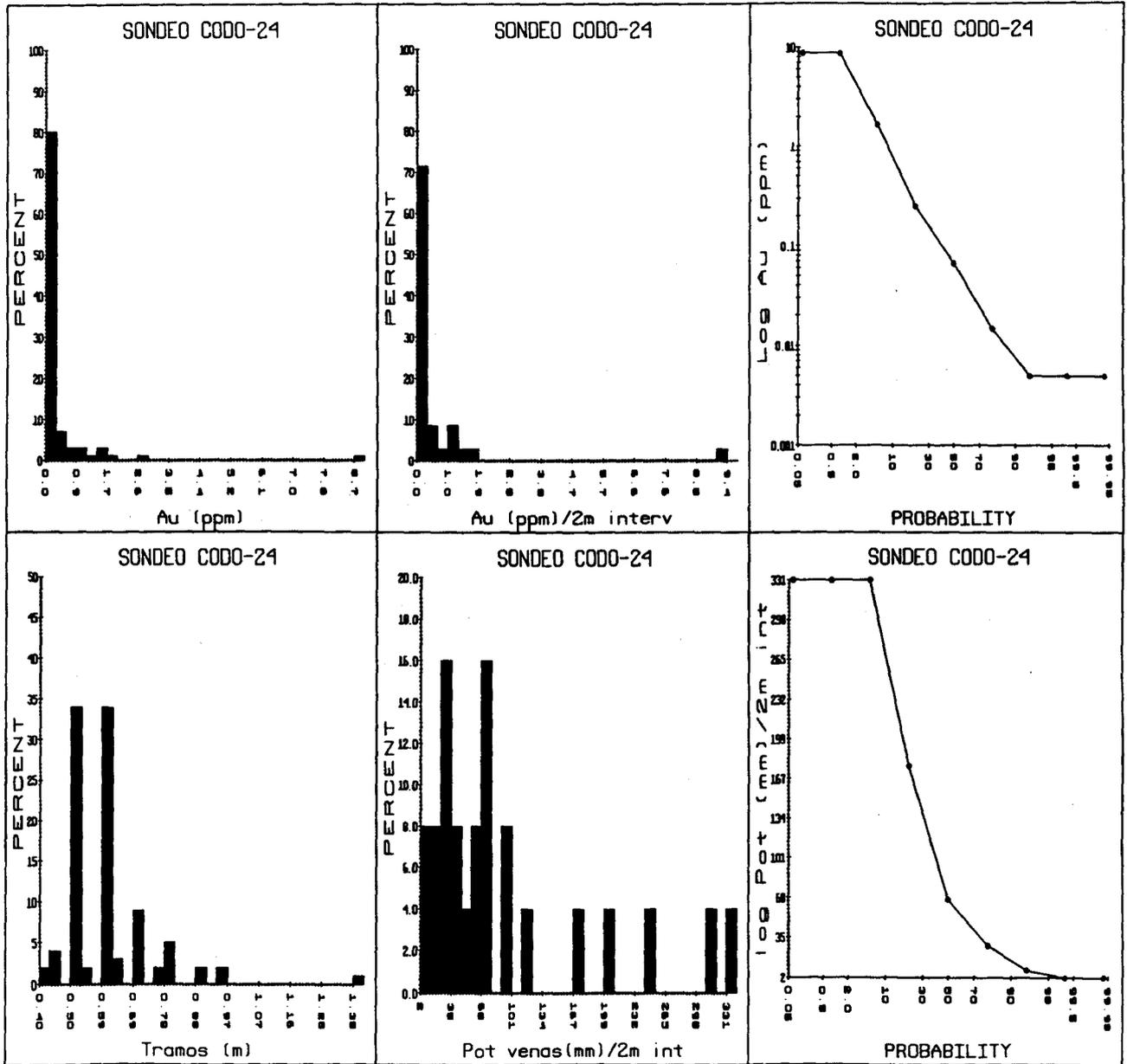


Fig.8.4.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-24 (La Codosera).

LOG COD027. - CODOSERA

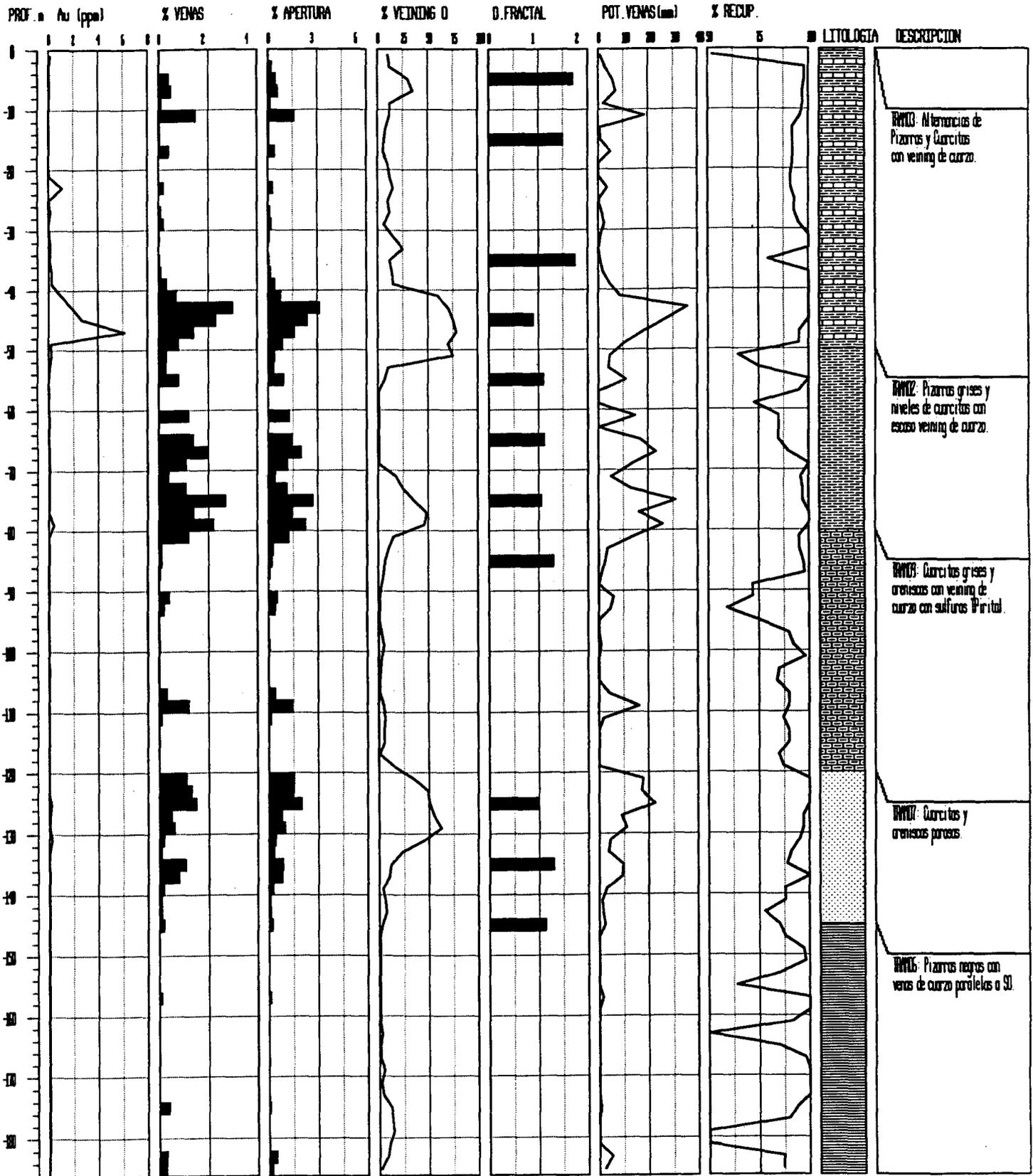


Fig.8.5.- Log del Sondeo Codo-27 (ITGE). Coordenadas X=654406, Y=4341115, Cota=478m) dirección 355 /40°. Monteviejo, La Codosera.

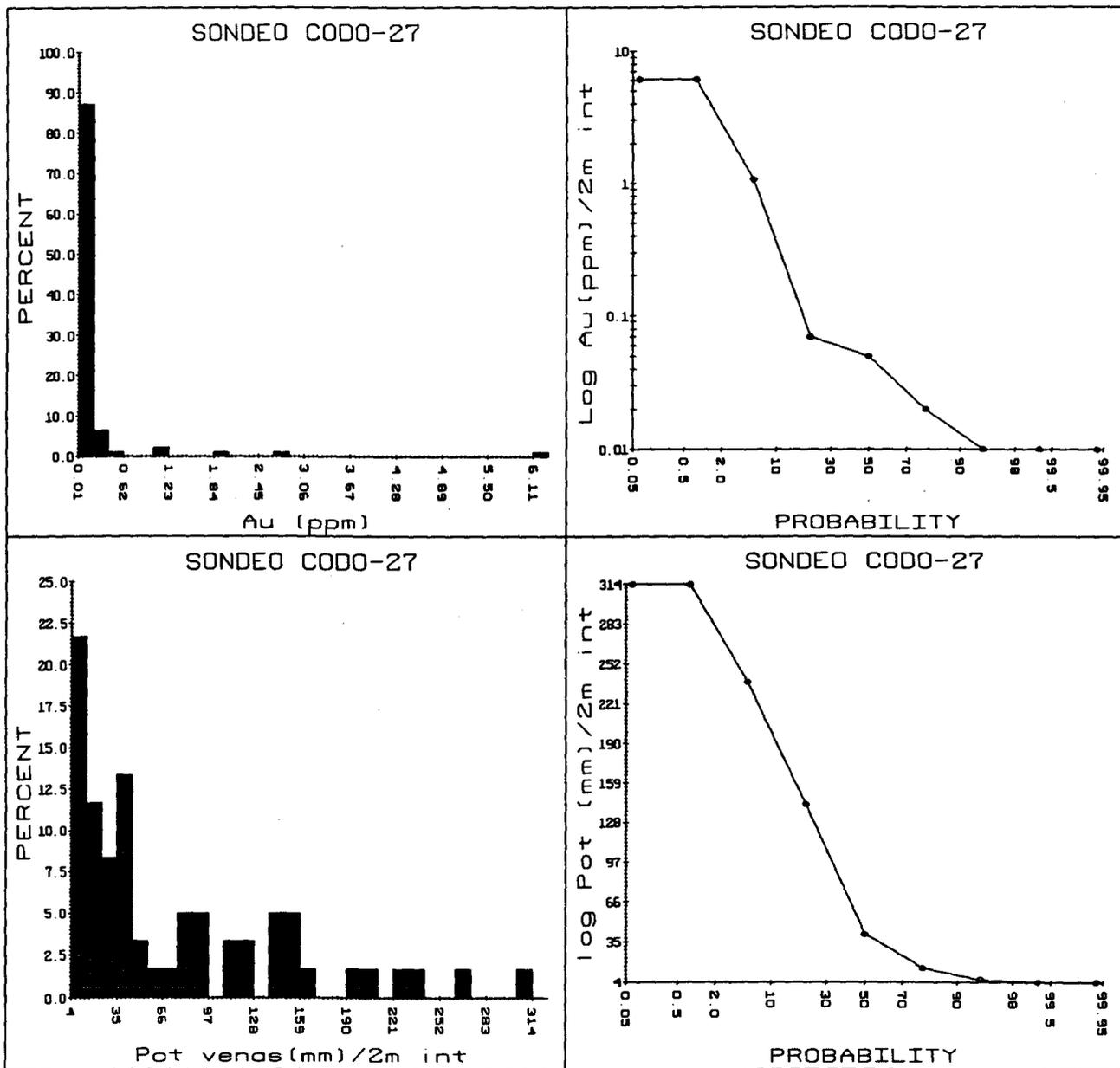


Fig.8.6.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-27 (La Codosera).

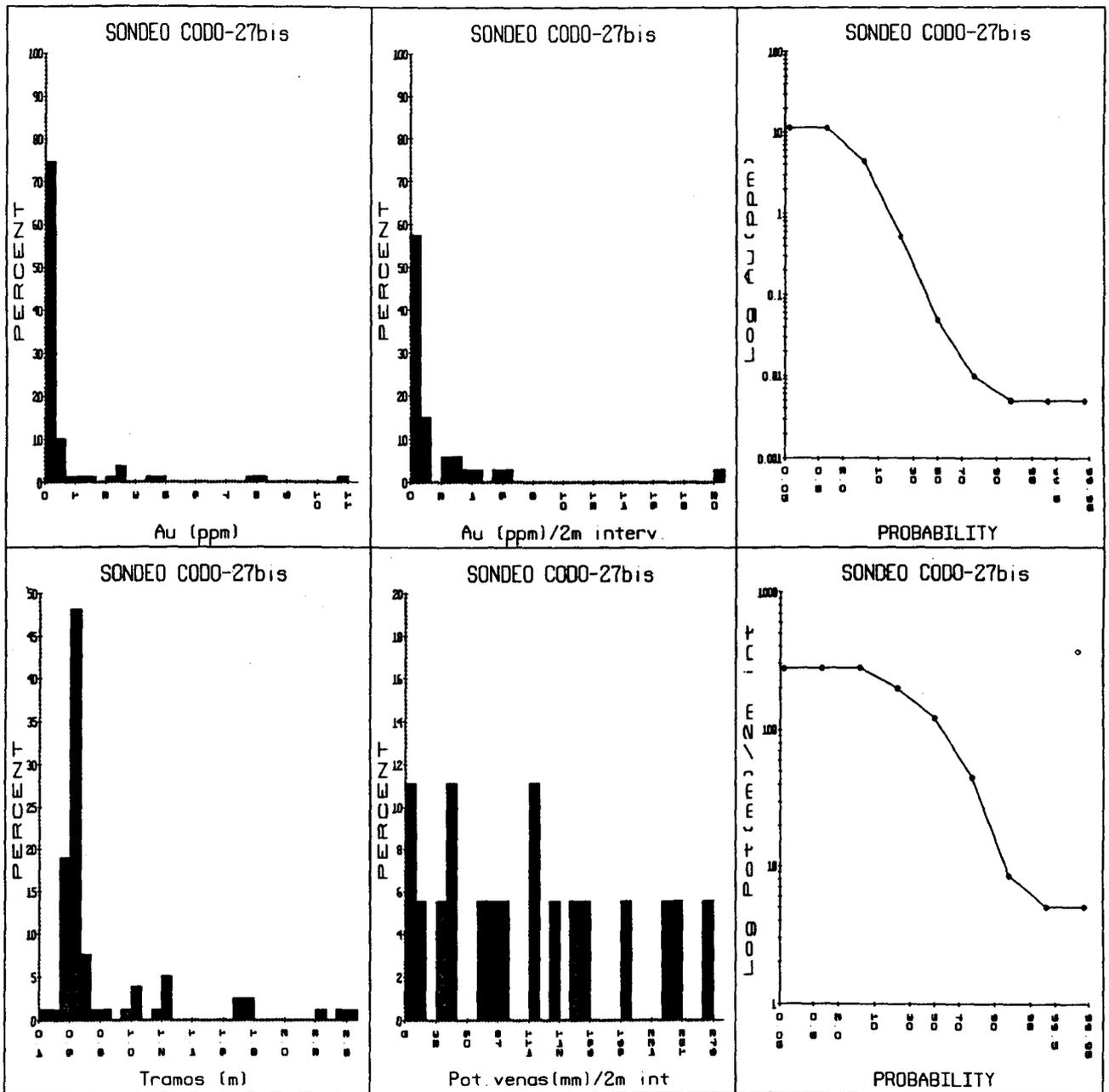


Fig.8.6_{bis}- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-27bis (La Codosera).

LOG CODO28. - CODOSERA

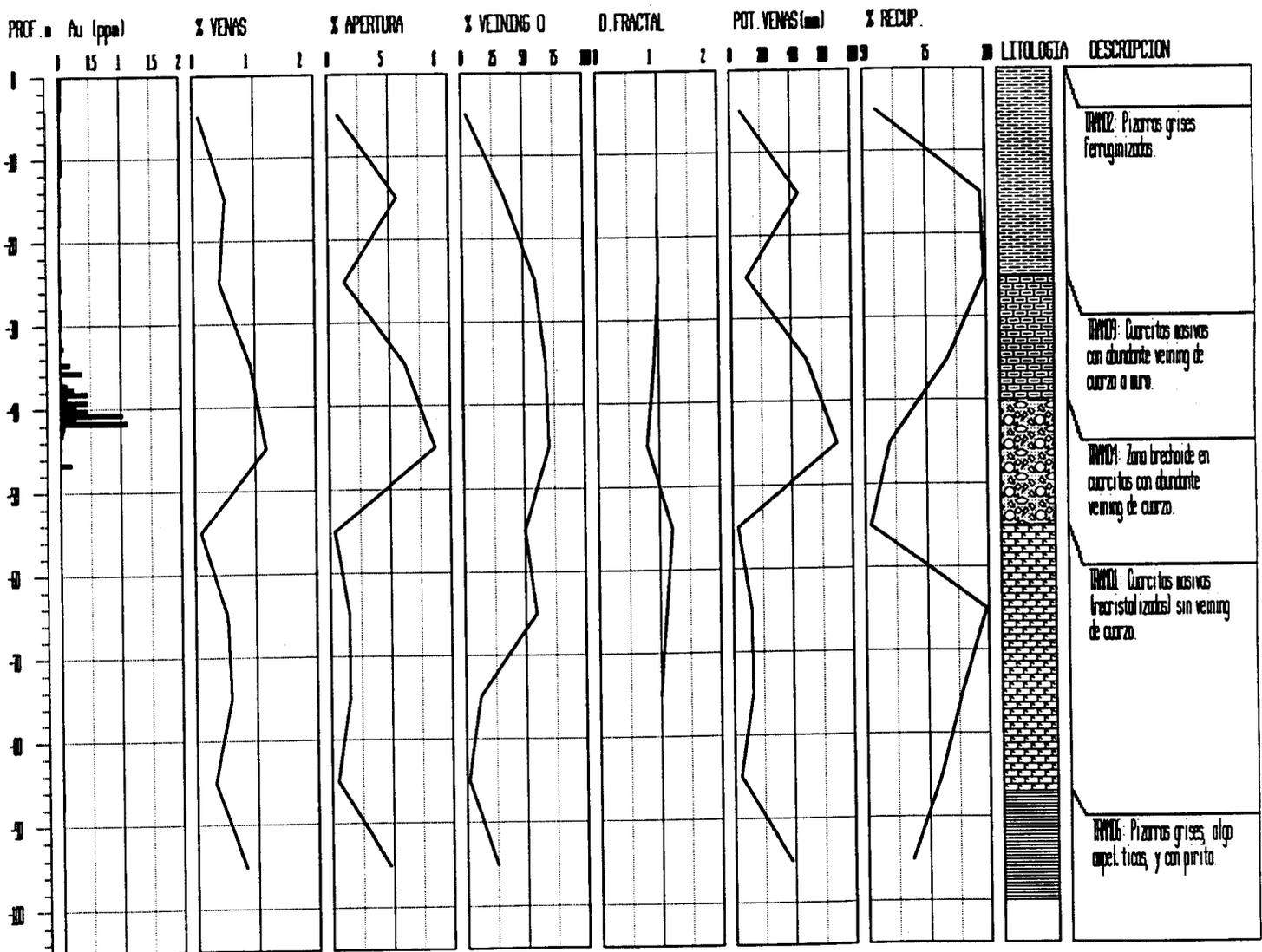


Fig.8.7.- Log del Sondeo Codo-28 (ITGE). Coordenadas X=652613, Y=4341670, Cota=477m, dirección N30°E /30°. La Portilla Oeste, La Codosera.

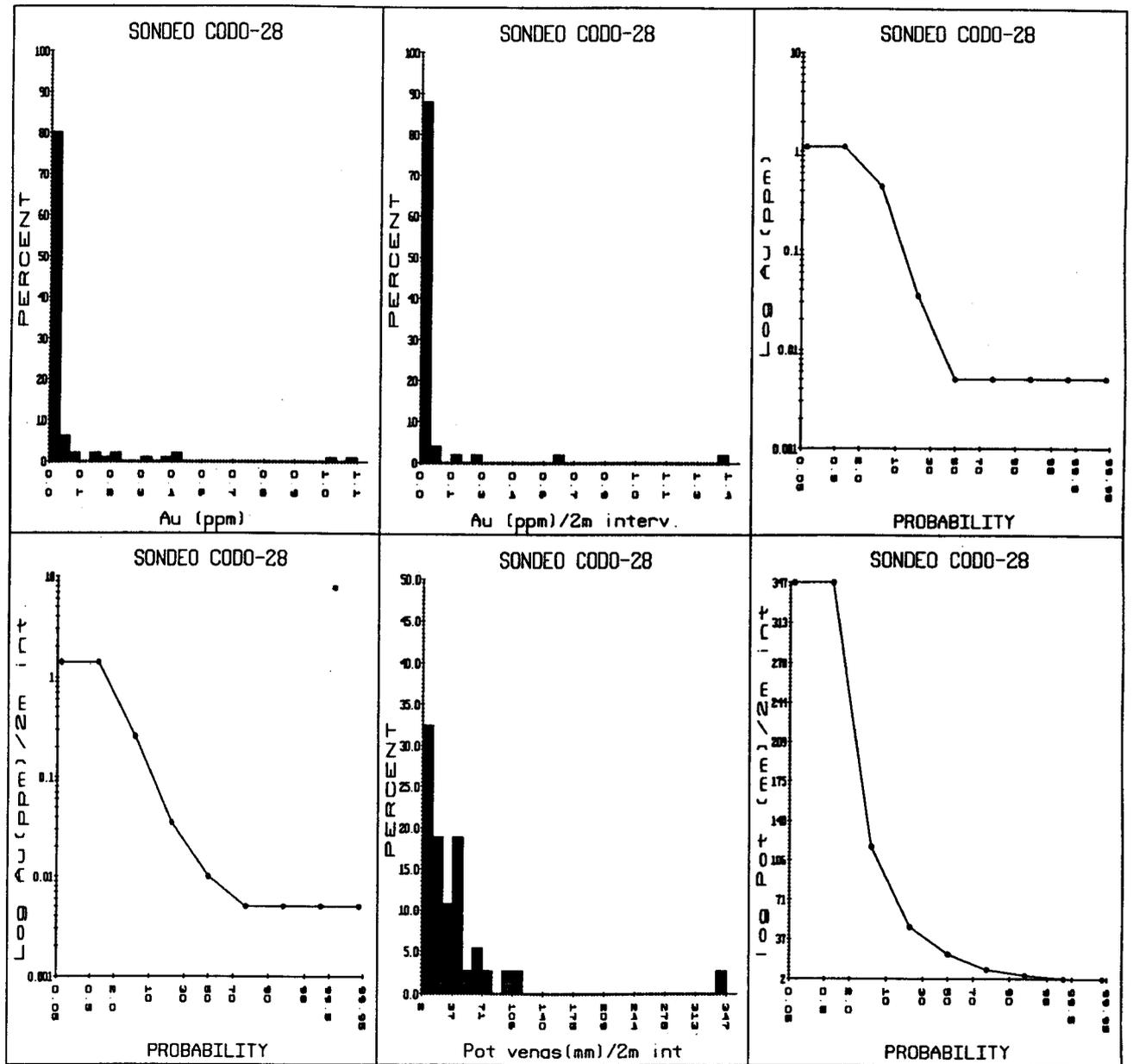


Fig.8.8.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-28 (La Codosera).

LOG CODO30. - CODOSERA

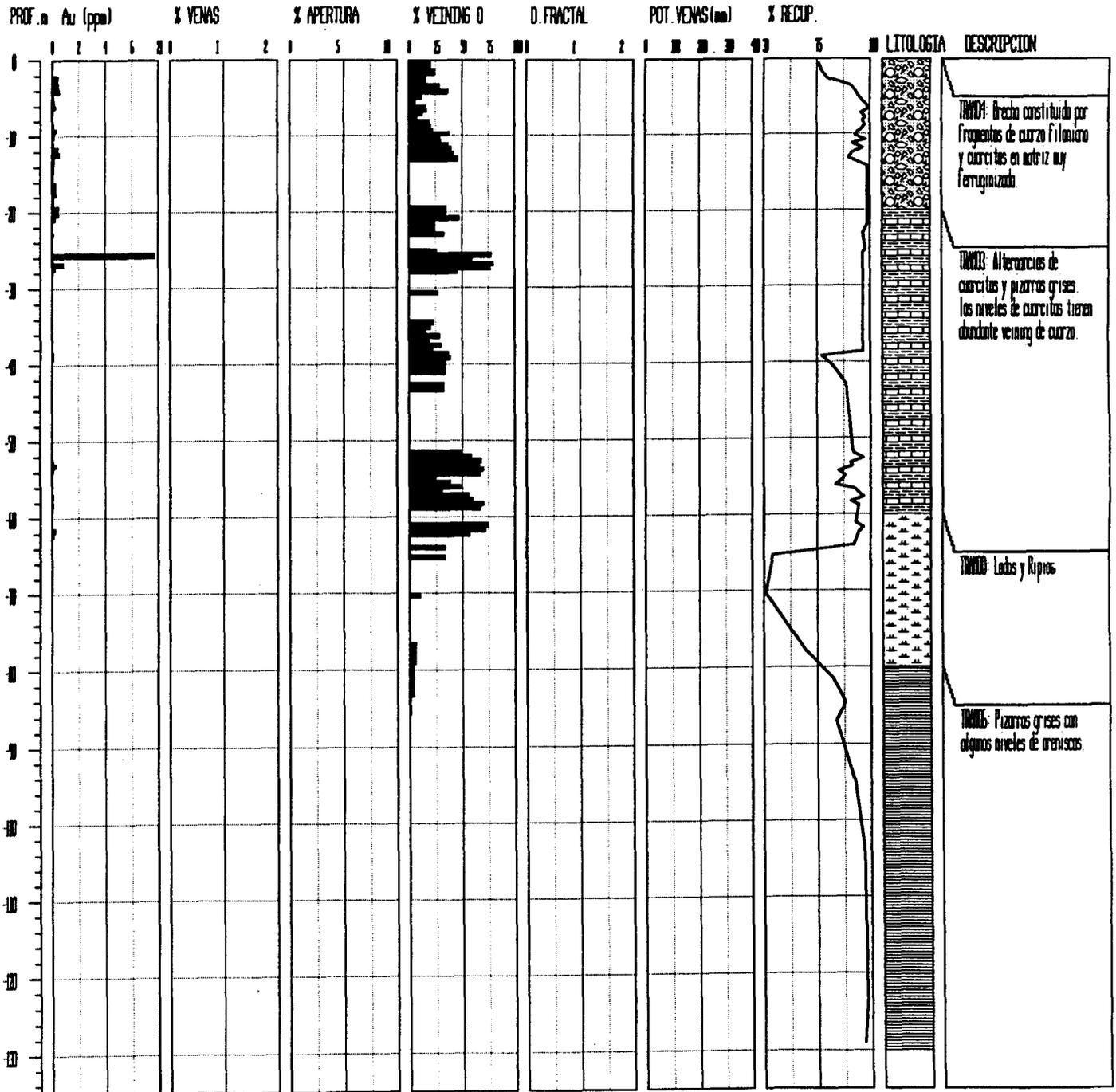


Fig.8.9.- Log del Sondeo Codo-30 (ITGE). Coordenadas X=654467, Y=4341091.5, Cota=490m dirección 360 /40°. Monteviejo, La Codosera.

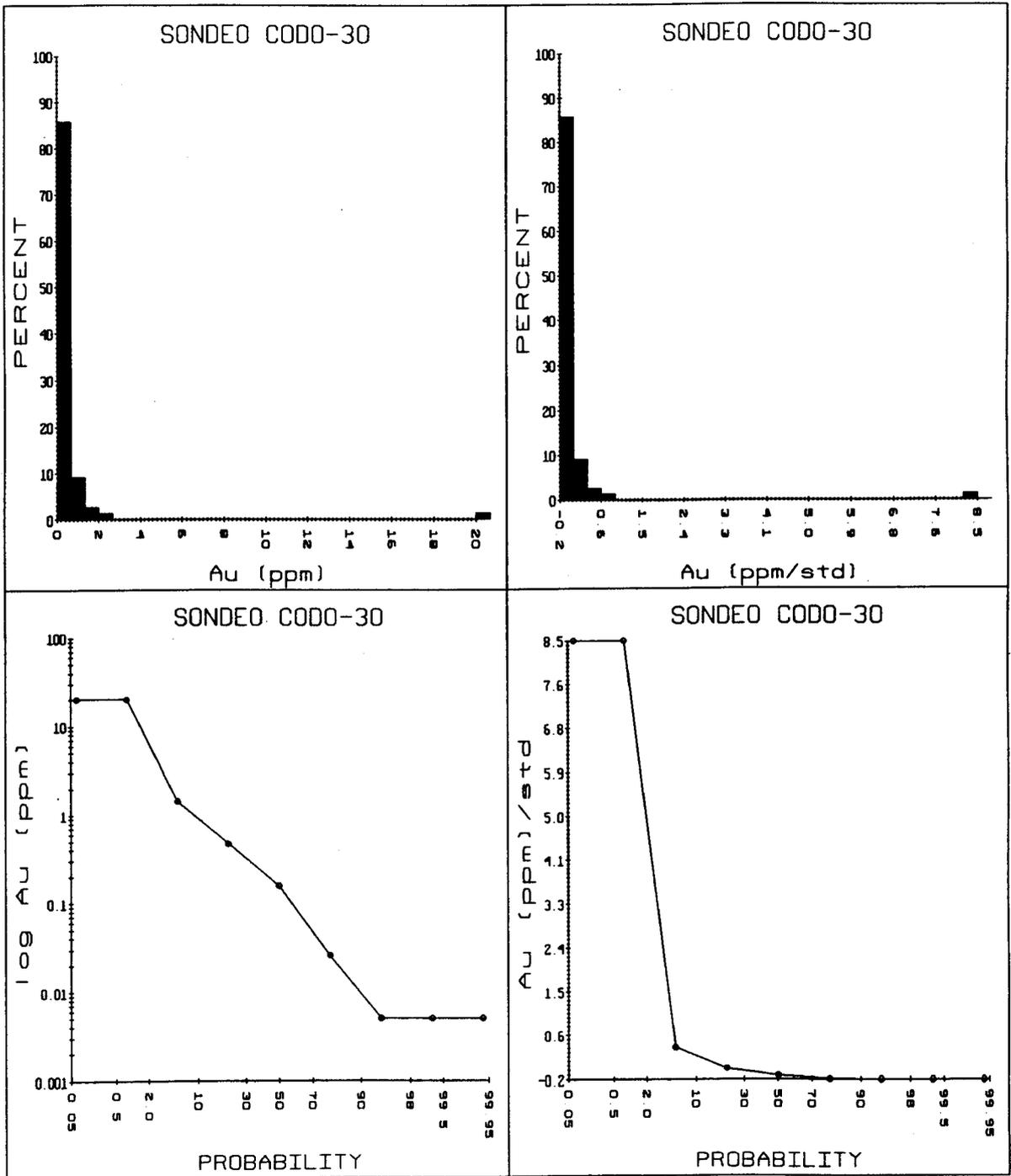


Fig.8.10.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-30 (La Codosera).

LOG CODO31. - CODOSERA

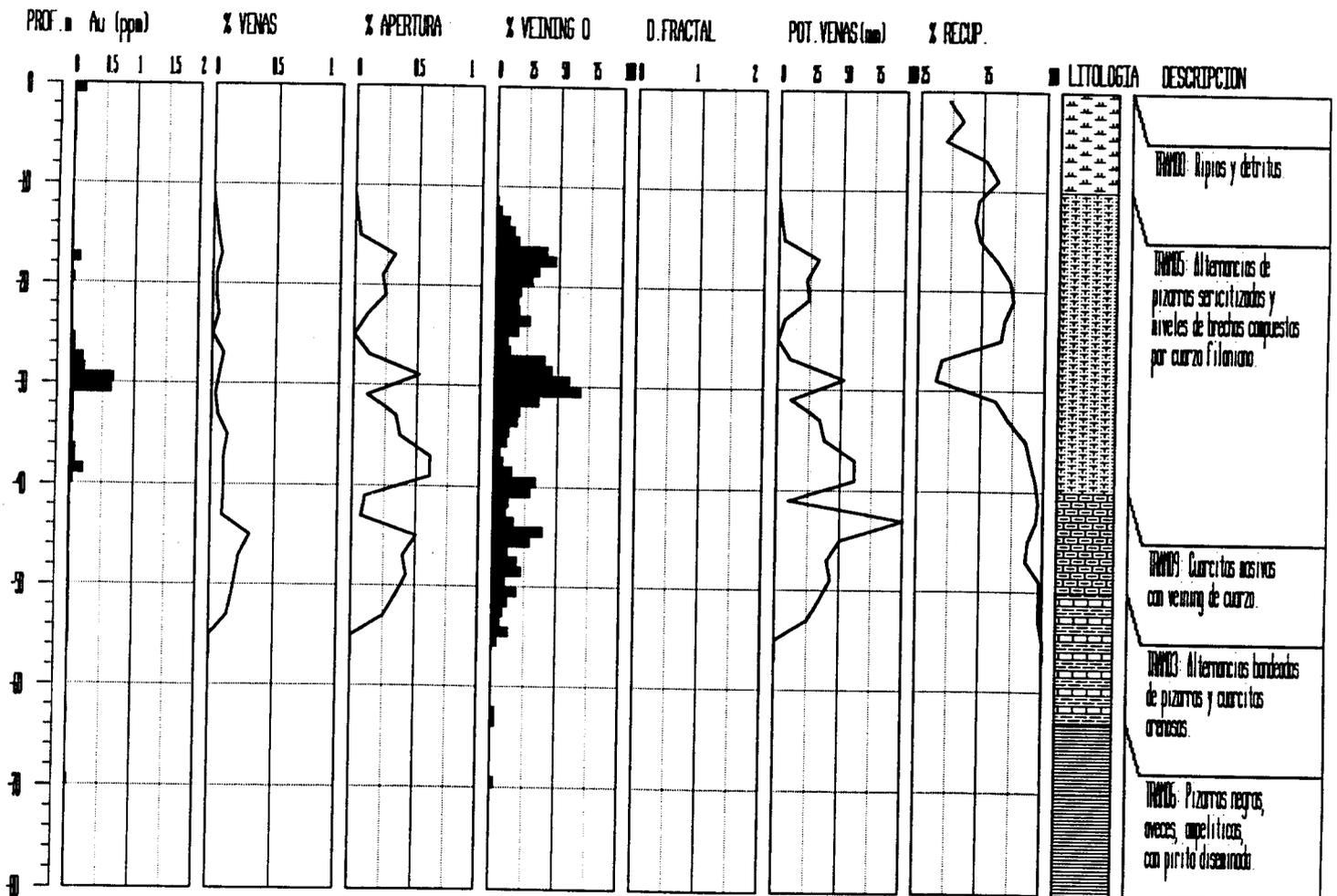


Fig.8.11.- Log del Sondeo Codo-31 (ITGE). Coordenadas X=654265, Y=4341089 Cota=463m dirección 030° /40° Oeste de Monteviejo, La Codosera.

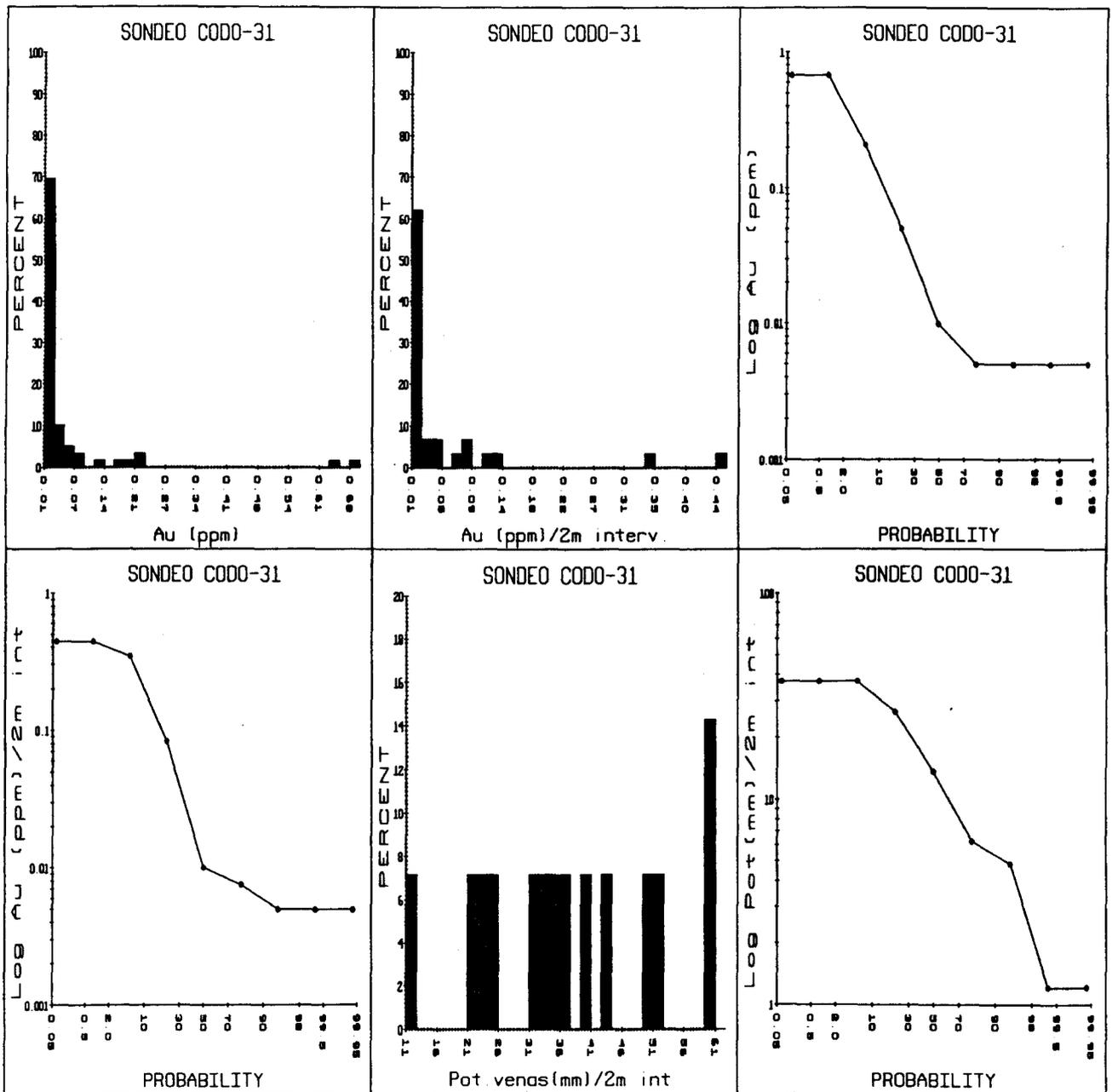


Fig.8.12.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-31 (La Codosera).

LOG CODO32. - CODOSERA

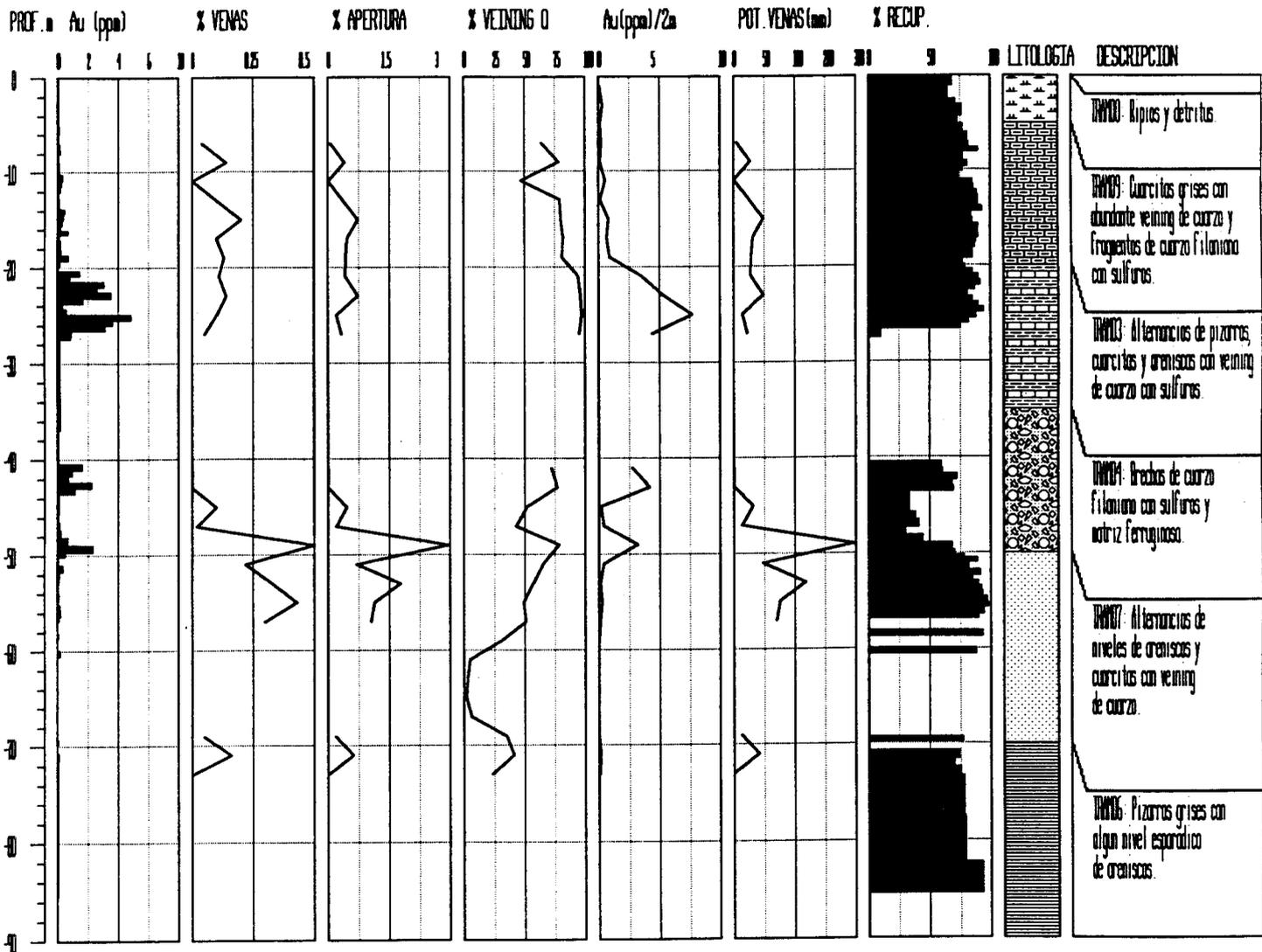


Fig.8.13.- Log del Sondeo Codo-32 (ITGE). Coordenadas X=654434, Y=4341175, Cota=481m dirección 090° /Vertical. Monteviejo, (saddle-reef), La Codosera .

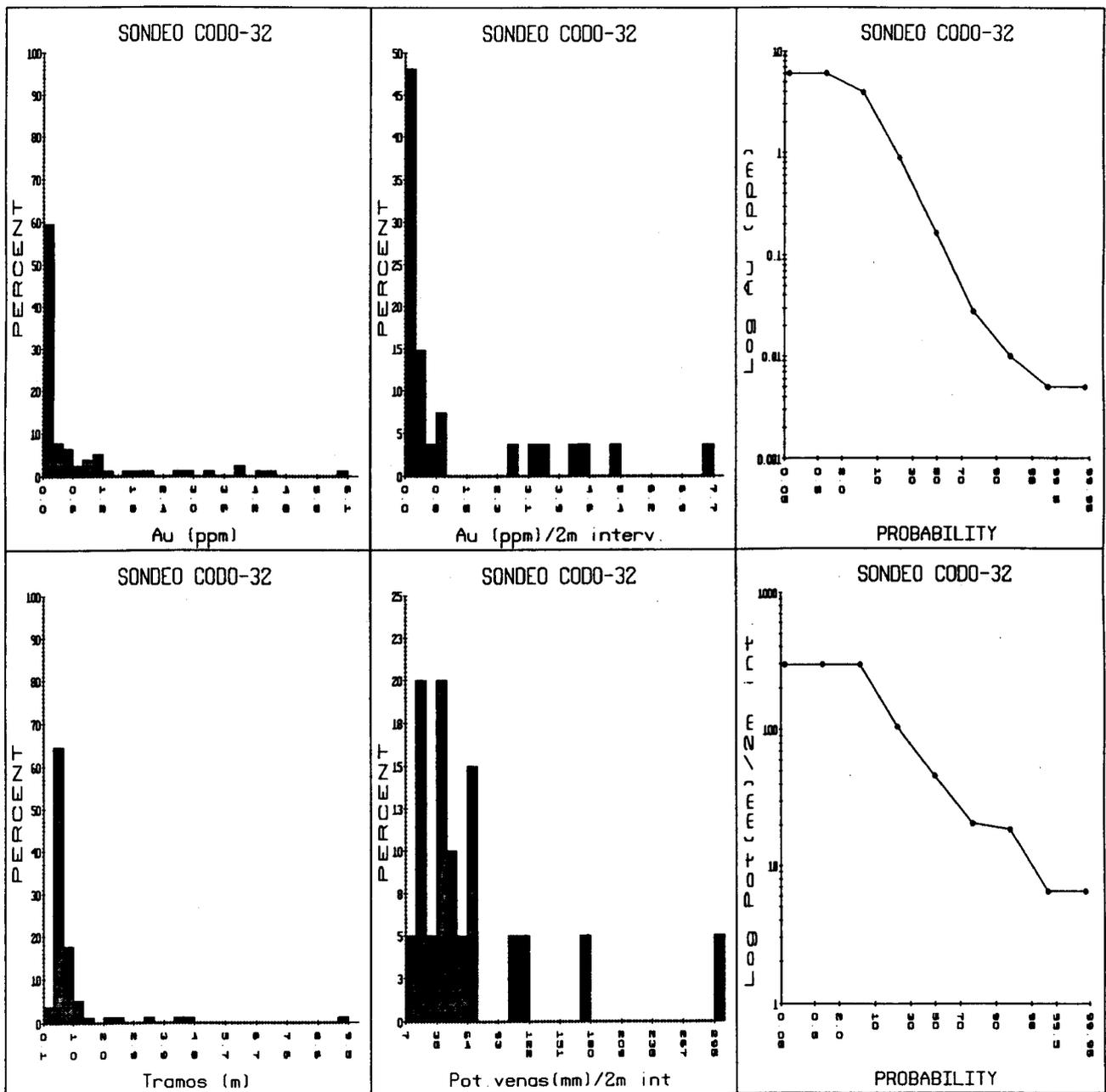


Fig.8.14.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-32 (La Codosera).

LOG CODO33. - CODOSERA

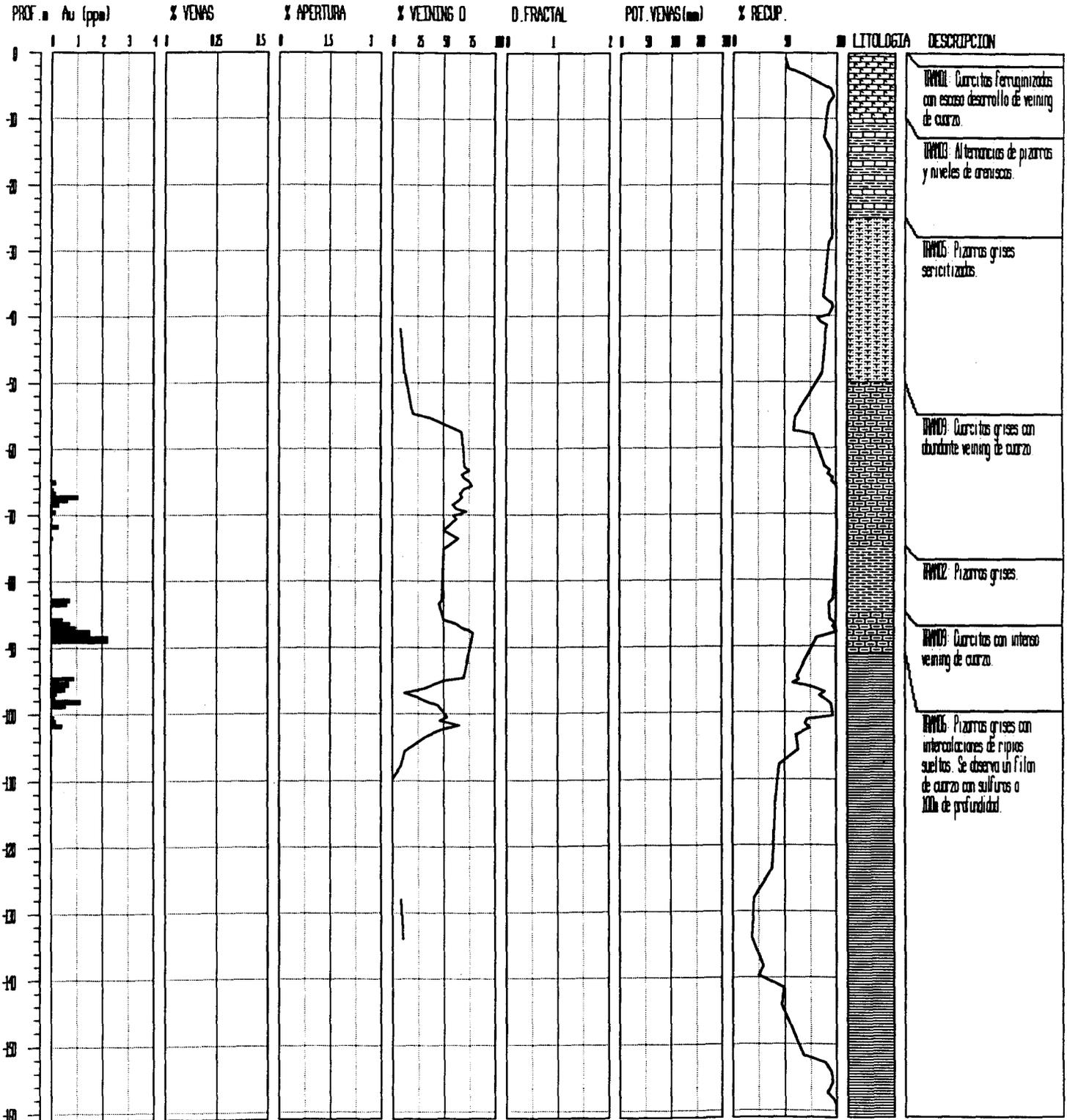


Fig.8.15.- Log del Sondeo Codo-33 (ITGE). Coordenadas X=654659, Y=4341062.5, Cota = 520m, dirección 015 /40°. Montevideo, La Codosera.

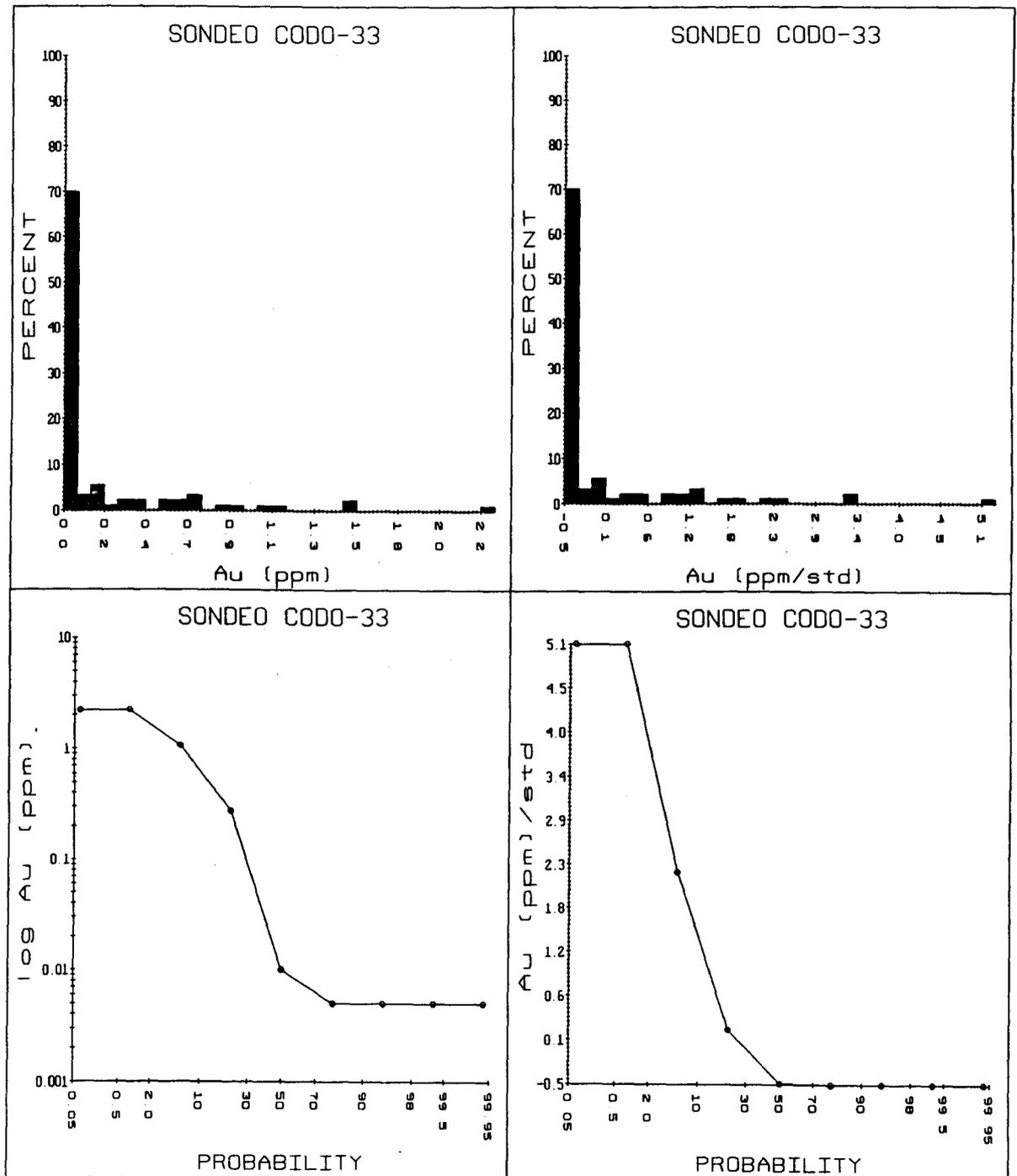


Fig.8.16.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-33 (La Codosera).

LOG CODO34. - CODOSERA

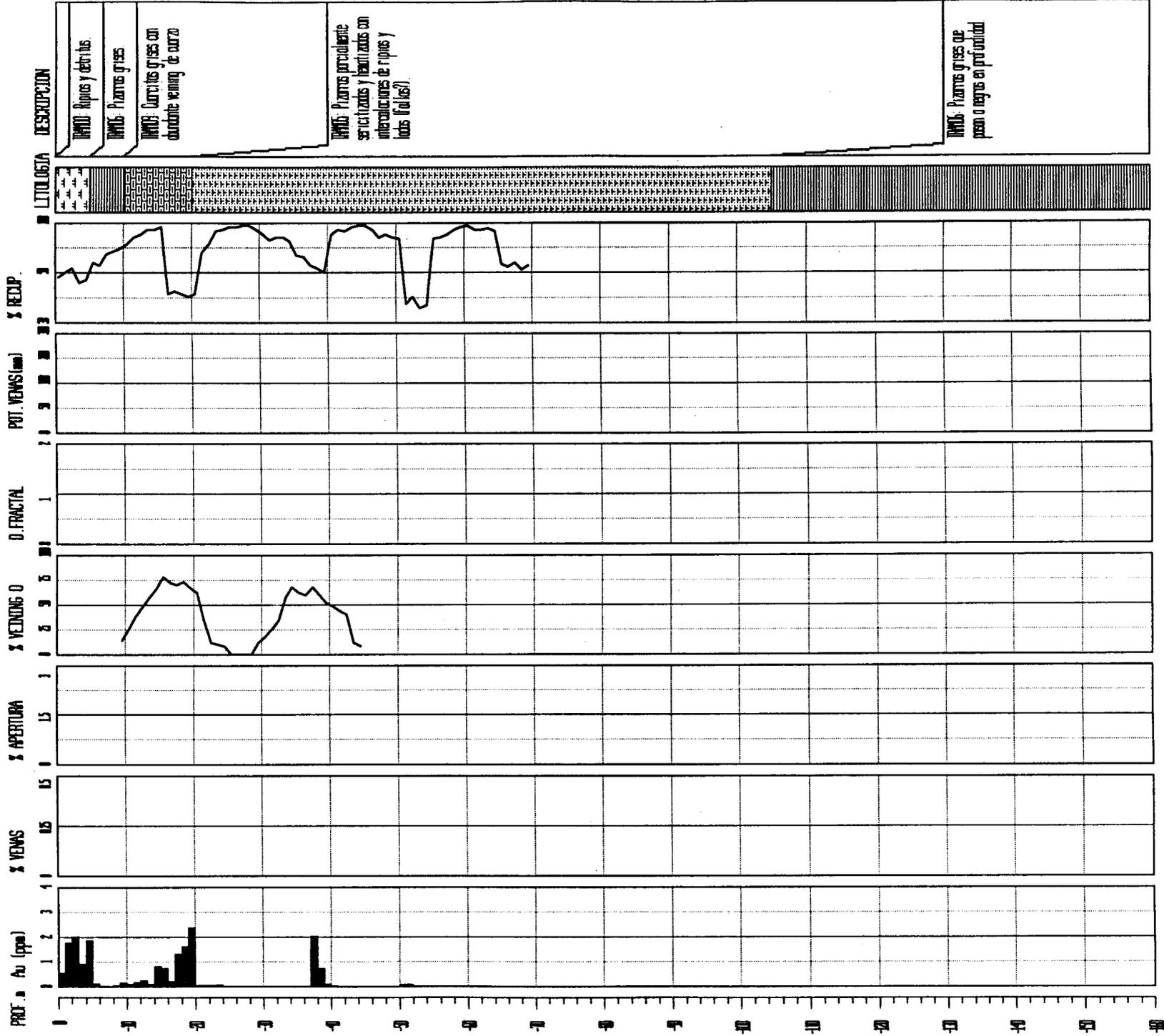


Fig.8.17.- Log del Sondeo Codo-34 (ITGE). Coordenadas X=654734, Y=4341148, Cota =515m, dirección 020 /40°, Monteviejo, La Codosera.

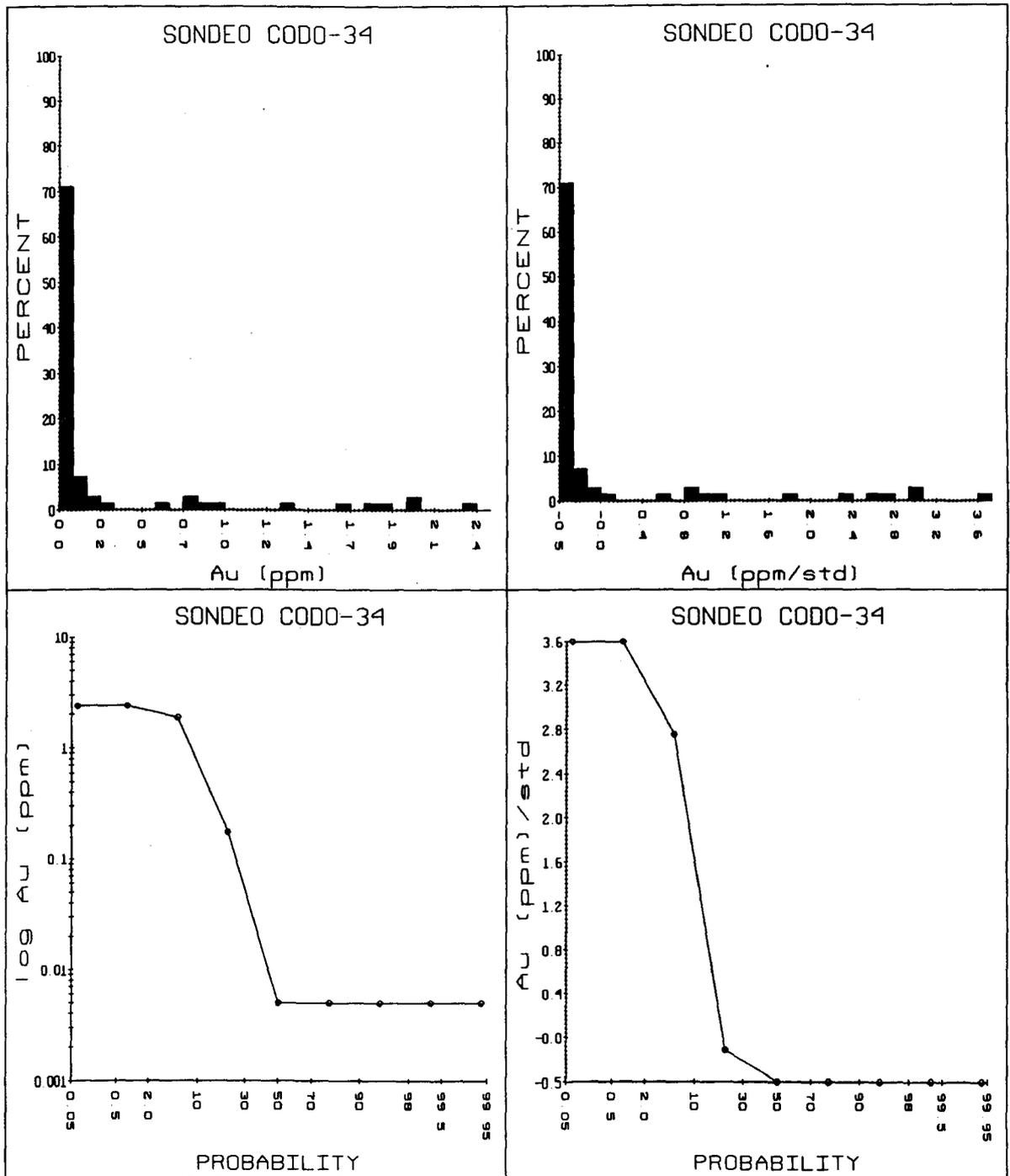


Fig.8.18.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-34 (La Codosera).

LOG CODO35. - CODOSERA

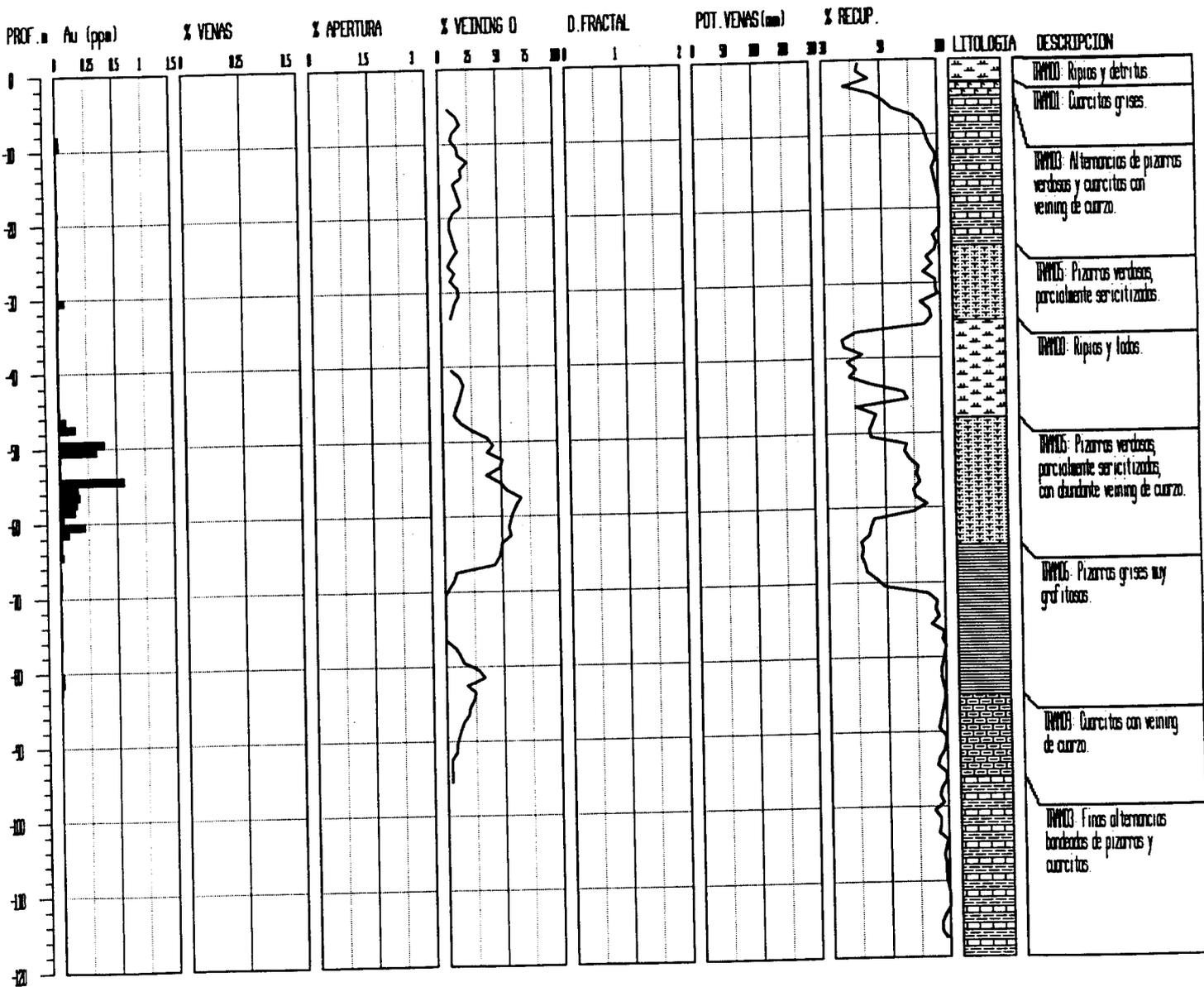


Fig.8.19.- Log del Sondeo Codo-35 (ITGE). Coordenadas X=654455, Y=4341174, Cota=483m, dirección 090°/Vertical. Monteviejo (saddle-reef), La Codosera.

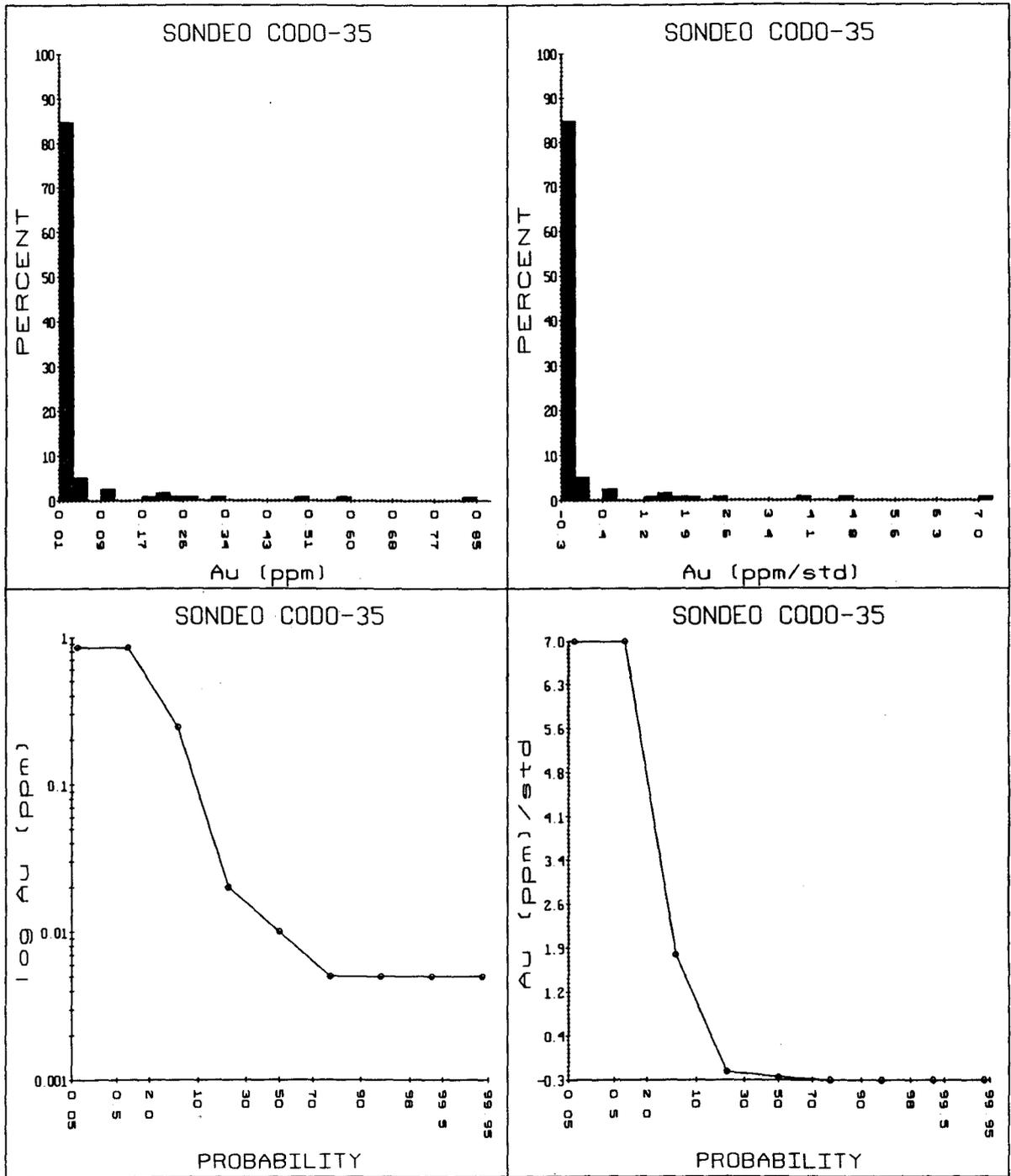


Fig.8.20.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-35 (La Codosera).

LOG CODO36.- CODOSERA

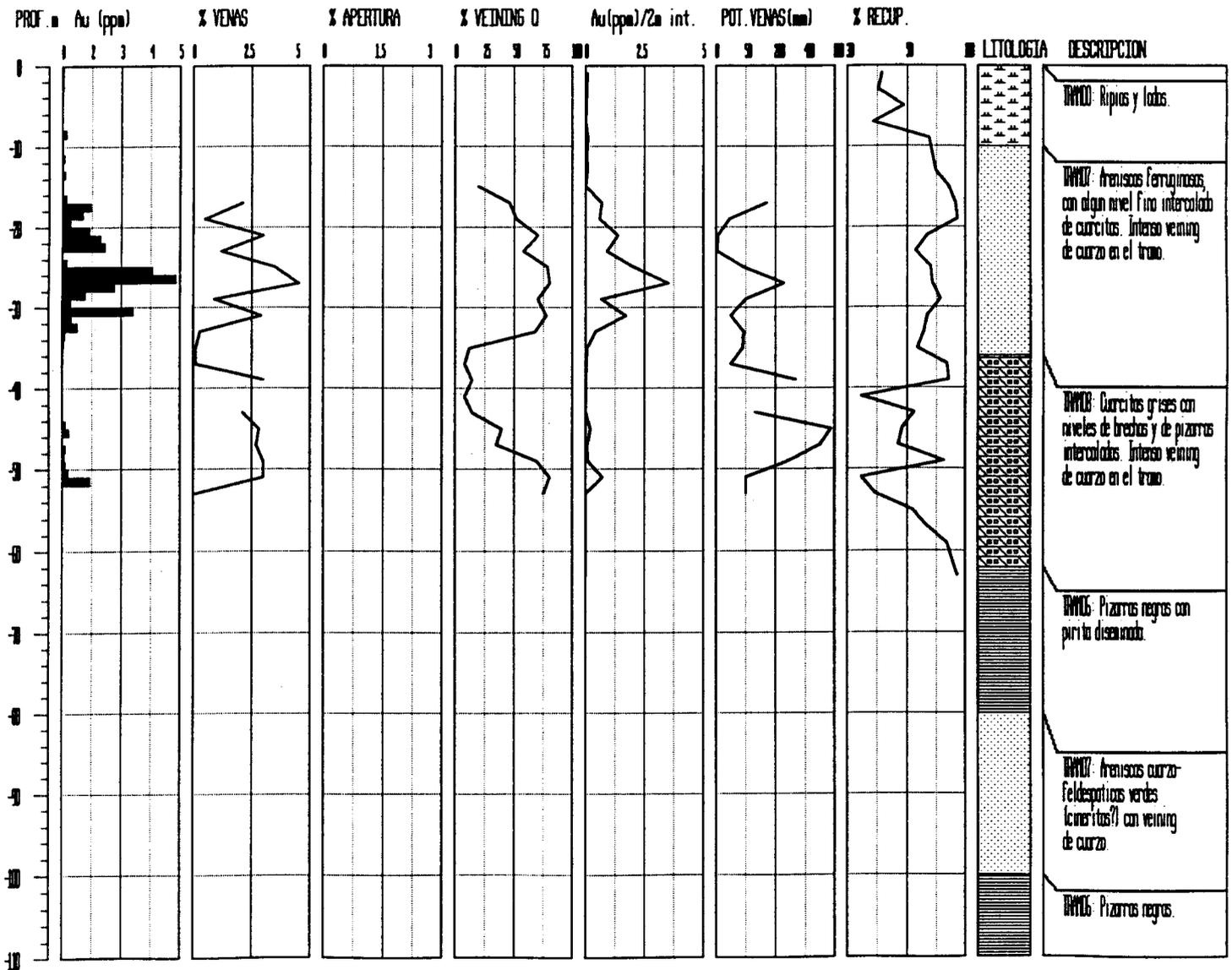


Fig.8.21.- Log del Sondeo Codo-36 (ITGE). Coordenadas X=654371, Y=4341115.5, Cota=470m, dirección N6°W /30°. Oeste de Monteviejo, La Codosera.

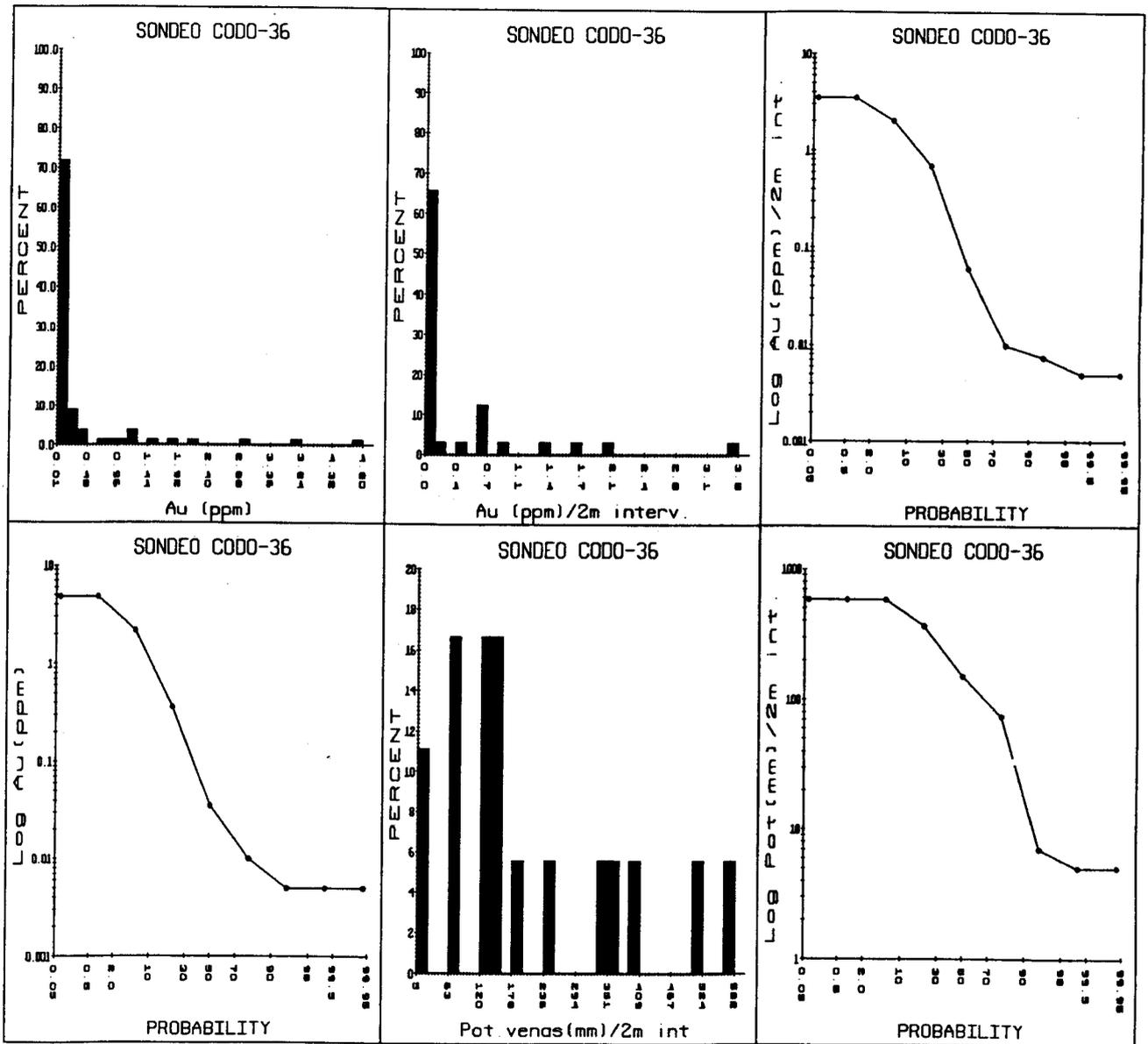


Fig.8.22.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-36 (La Codosera).

LOG NG5. - CODOSERA

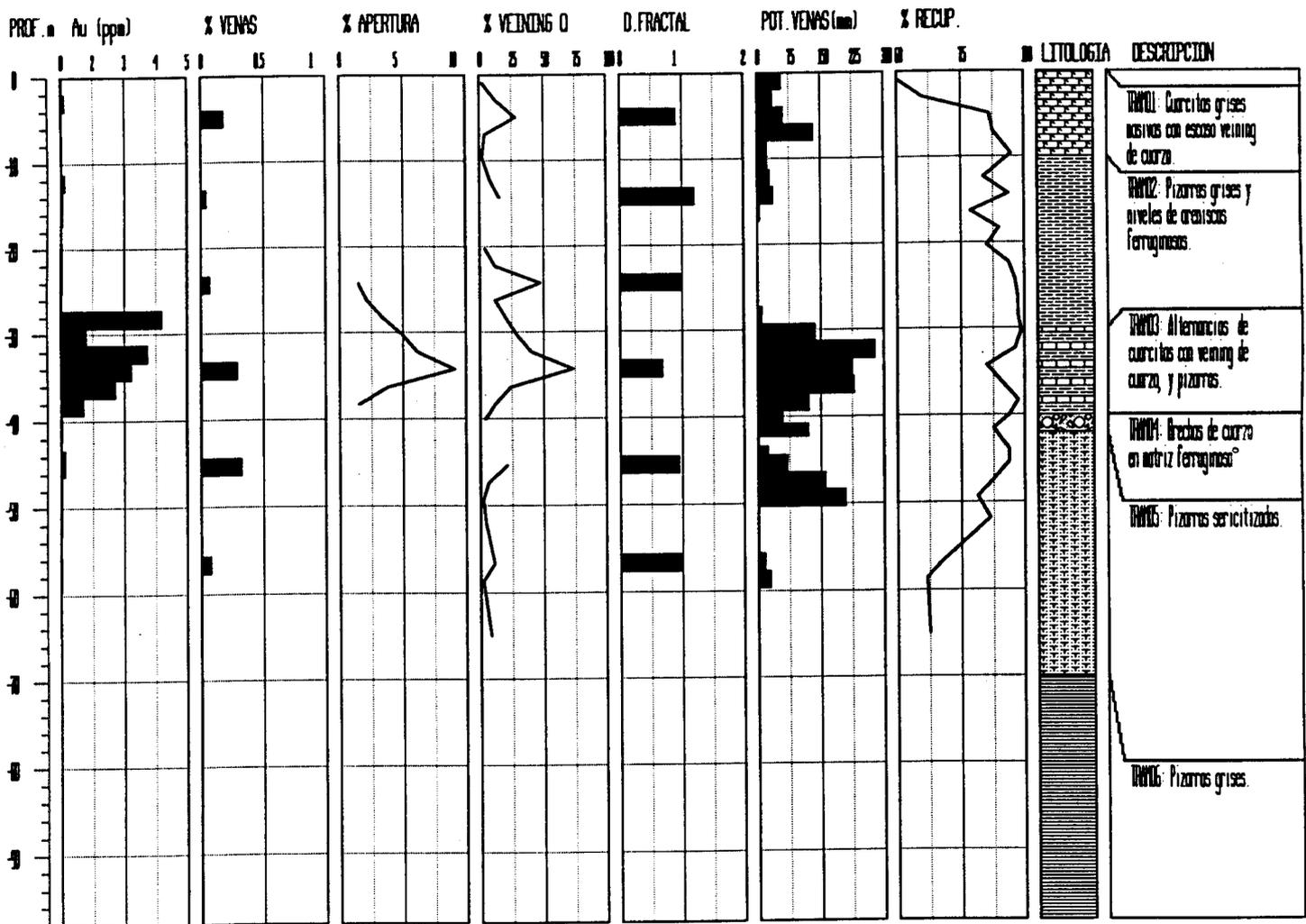


Fig.8.23.- Log del Sondeo NG-5 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654686.5, Y=4341153, Cota=518m, dirección 002 /45°. Banda Norte, Monteviejo, La Codosera.

LOG NG7. - CODOSERA

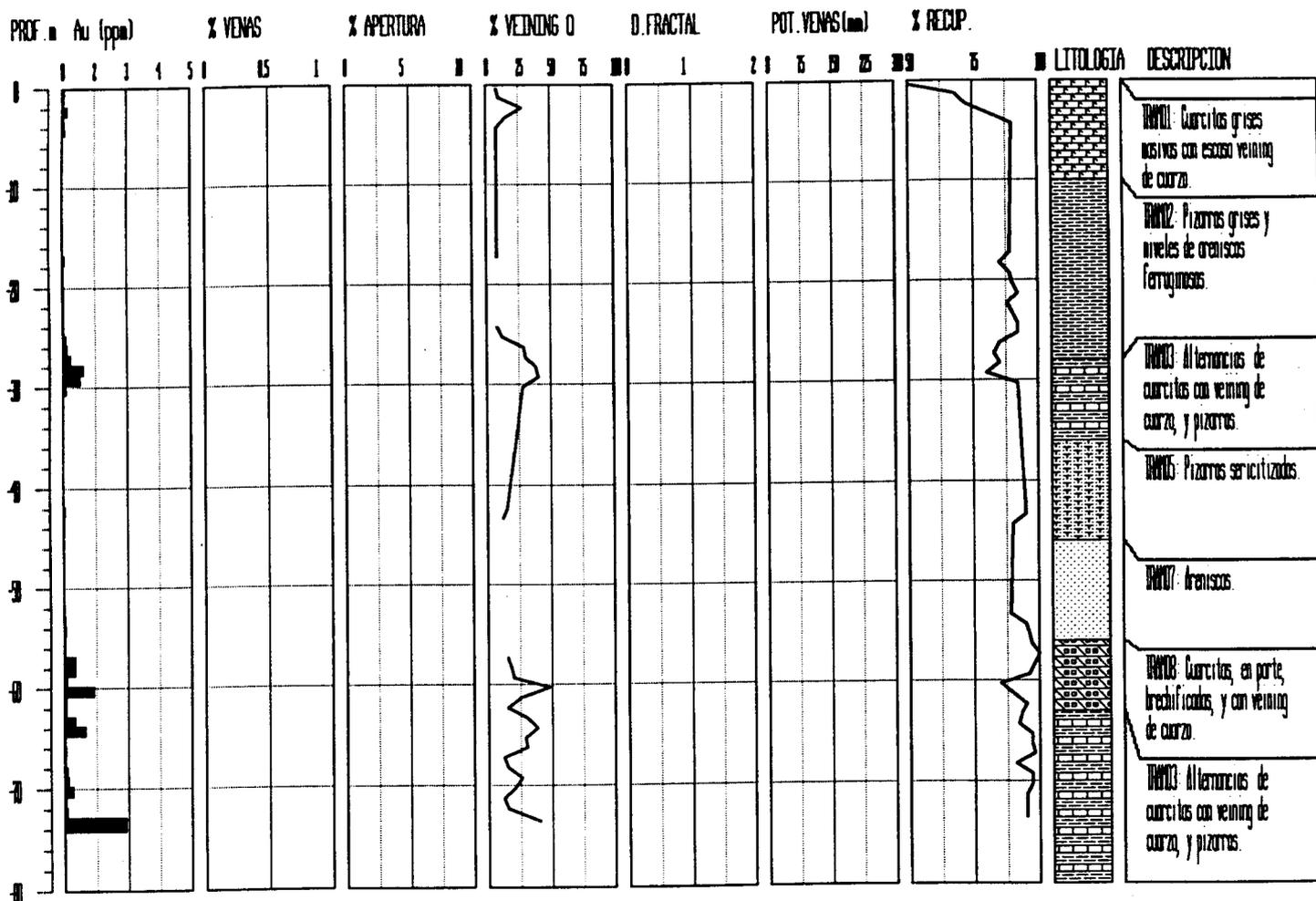


Fig.8.24.- Log del Sondeo NG-7 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654703, Y=4341090, Cota=524m, dirección 027 /45°. Banda Sur, Monteviejo, La Codosera.

LOG NG8. - CODOSERA

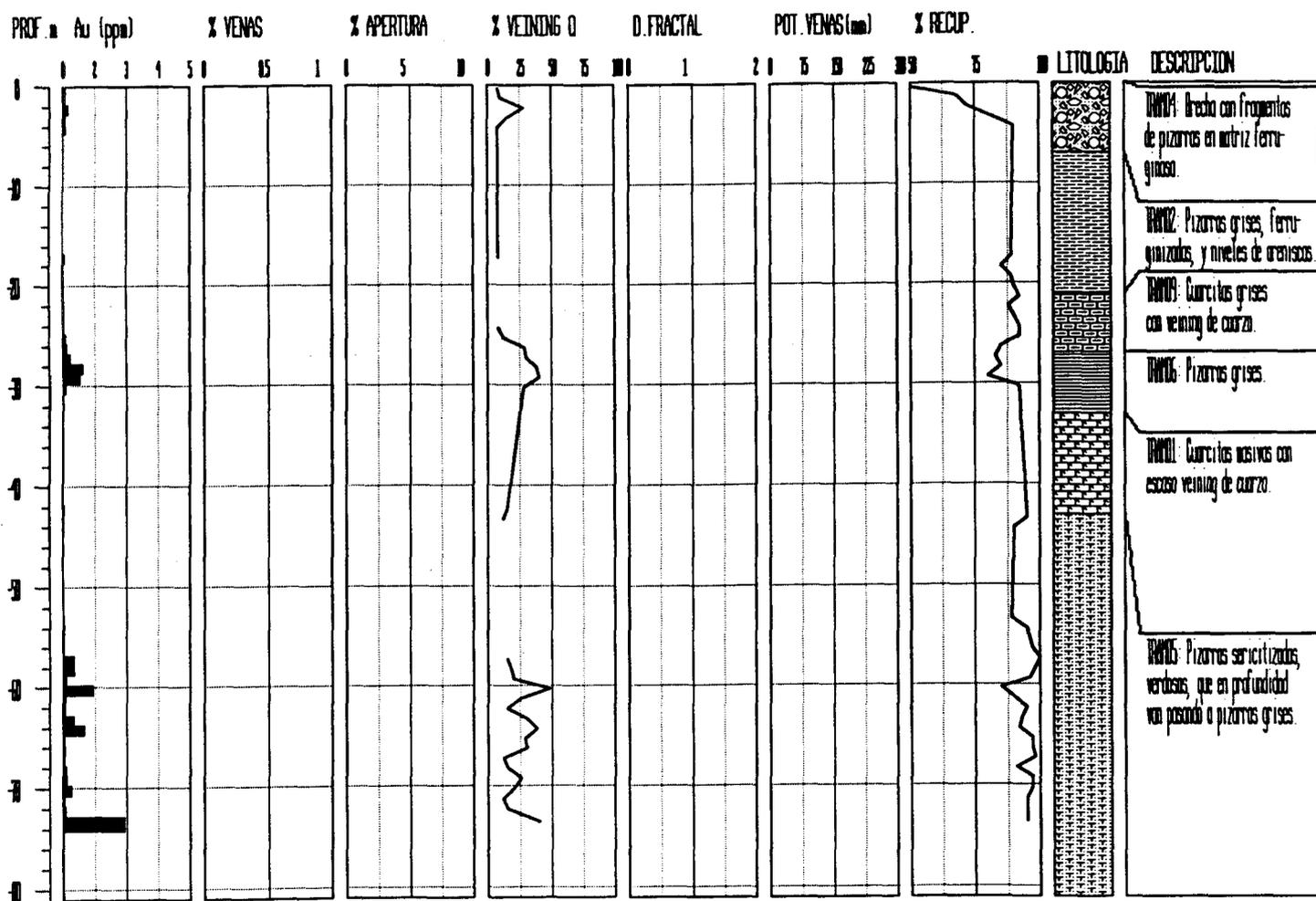


Fig.8.25.- Log del Sondeo NG-8 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654606, Y=4341165, Cota=508m, dirección 009 /45°, Banda Norte, Monteviejo, La Codosera.

LOG NG9. - CODOSERA

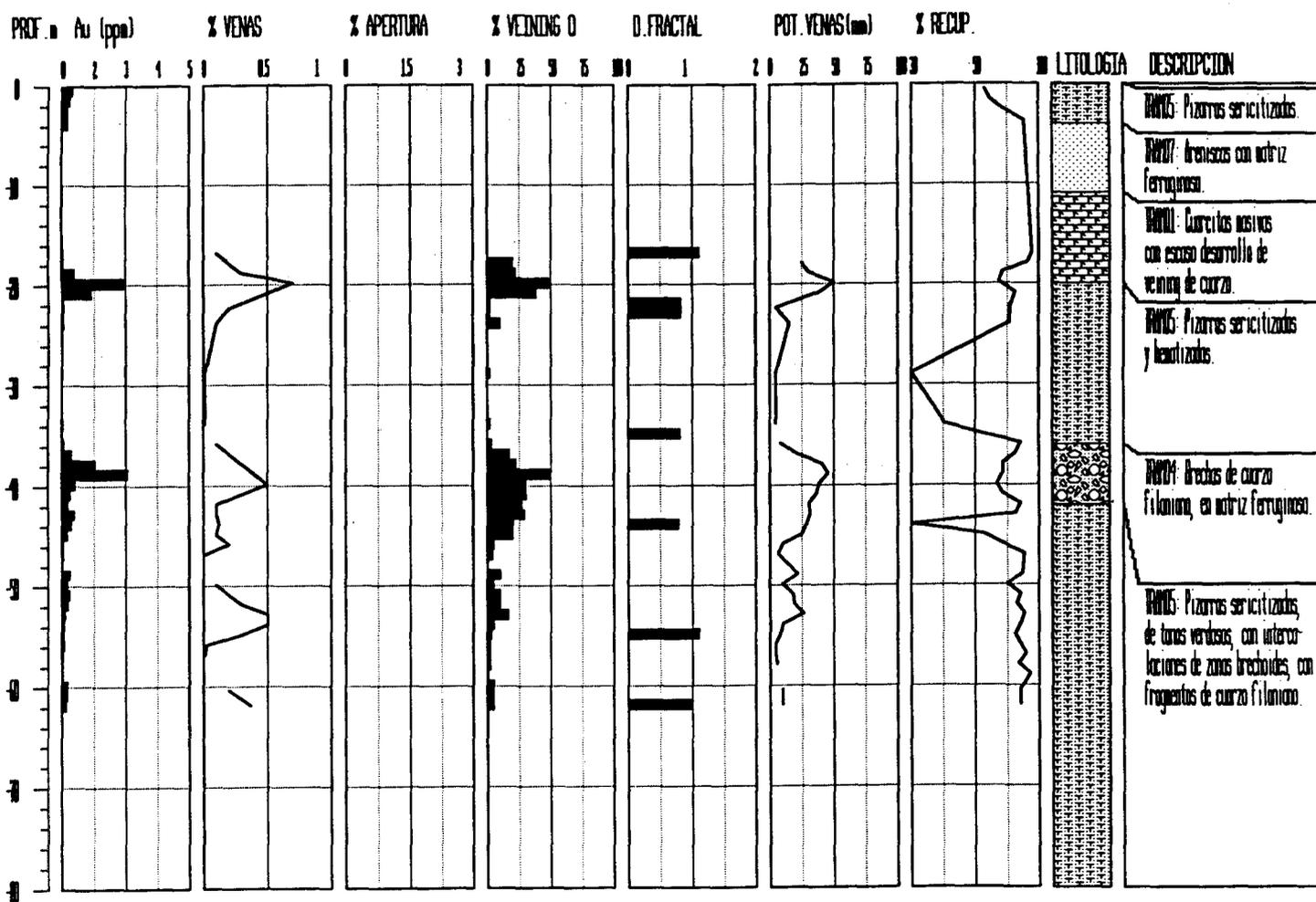


Fig.8.26.- Log del Sondeo NG-9 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654780, Y=4341140, Cota=515m, dirección 005 /45°, Banda Norte, Monteviejo, La Codosera.

LOG NG10. - CODOSERA

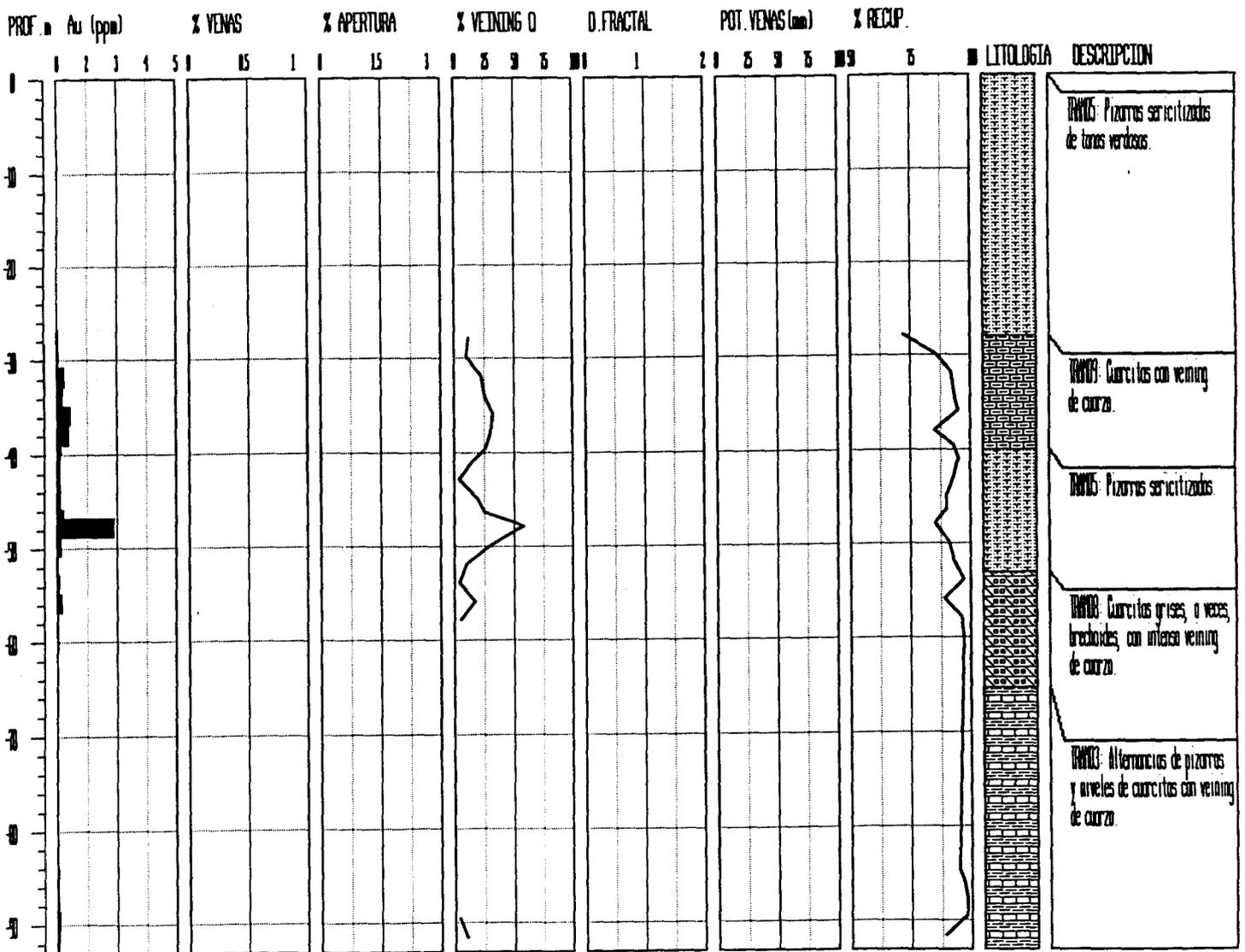


Fig.8.27.- Log del Sondeo NG-10 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X= 654336, Y= 4341090, Cota = 465m, dirección 360 /45°, Oeste Monteviejo, La Codosera.

LOG NG14. - CODOSERA

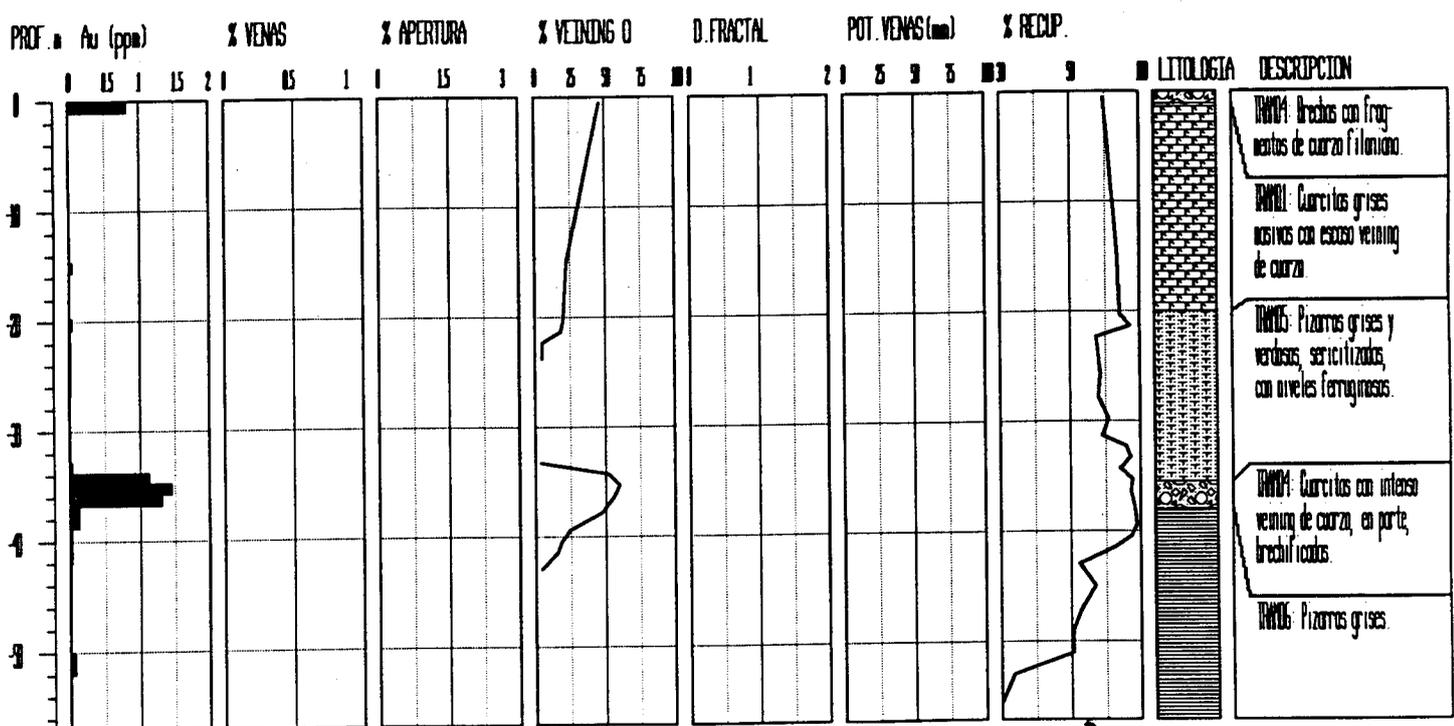


Fig.8.28.- Log del Sondeo NG-14 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654838, Y=4341110, Cota=498m, dirección 027 /45°, Banda Norte, Monteviejo, La Codosera.

LOG NG15. - CODOSERA

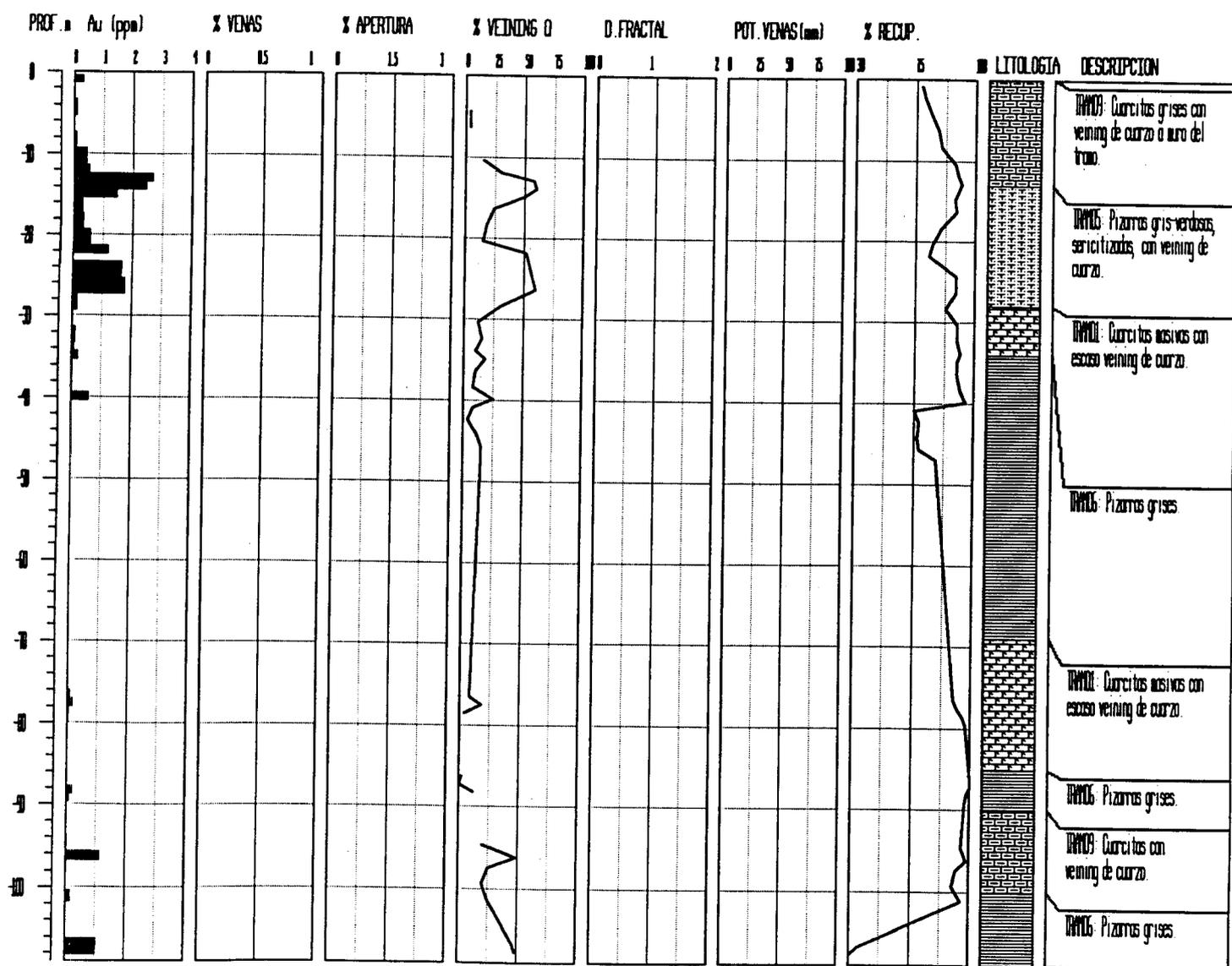


Fig.8.29.- Log del Sondeo NG-15 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654810, Y=4341070, Cota=518m, dirección 027 /45°, Banda Sur, Monteviejo, La Codosera.

LOG CN-1. - C. BARRANCONES

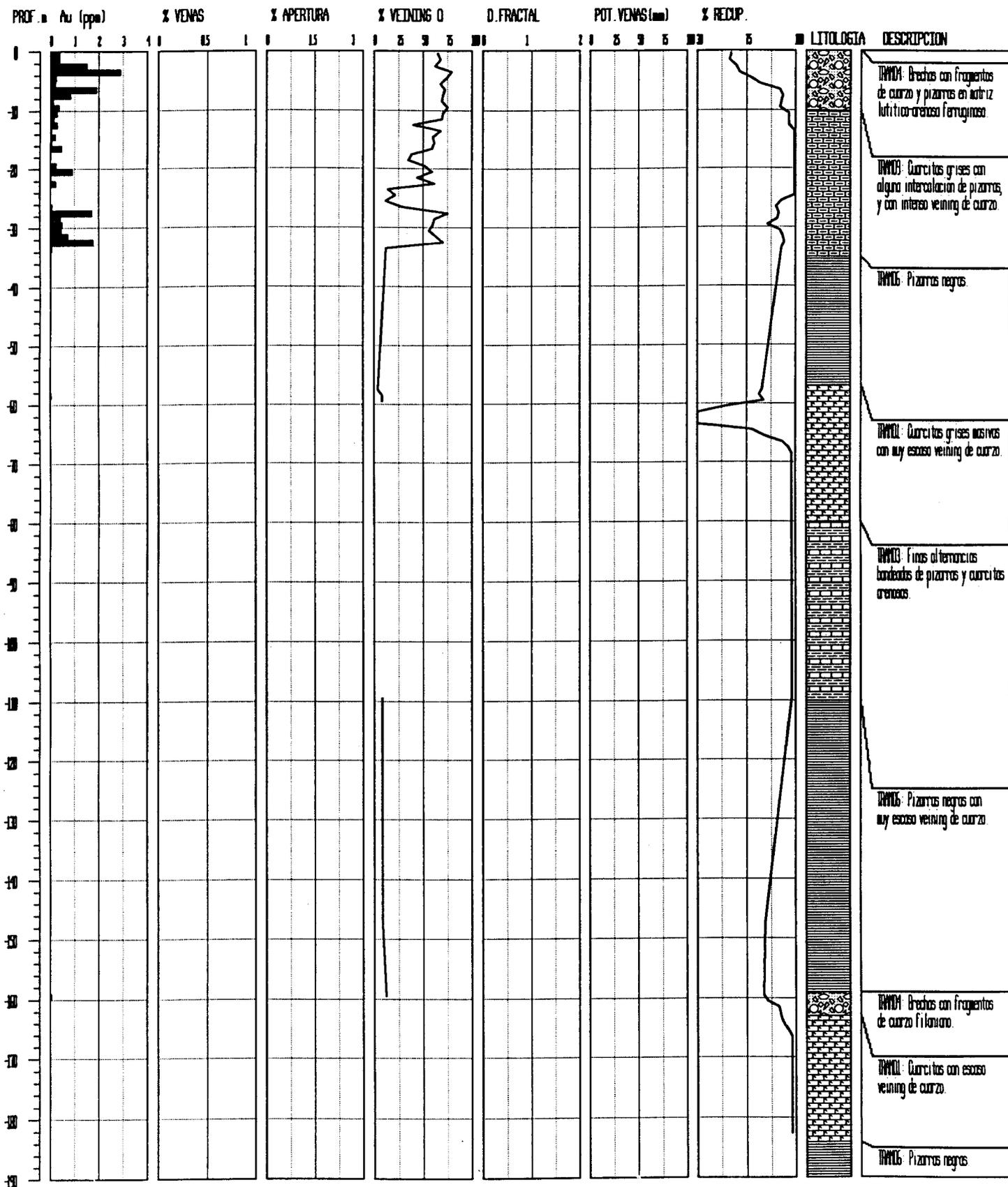


Fig.8.30.- Log del Sondeo CN-1 (ITGE). Coordenadas X=655172, Y=4340536, Cota=427m, dirección 010 /40°, C^a Niña, Barrancones, La Codosera.

LOG CN-2. - C. BARRANCONES

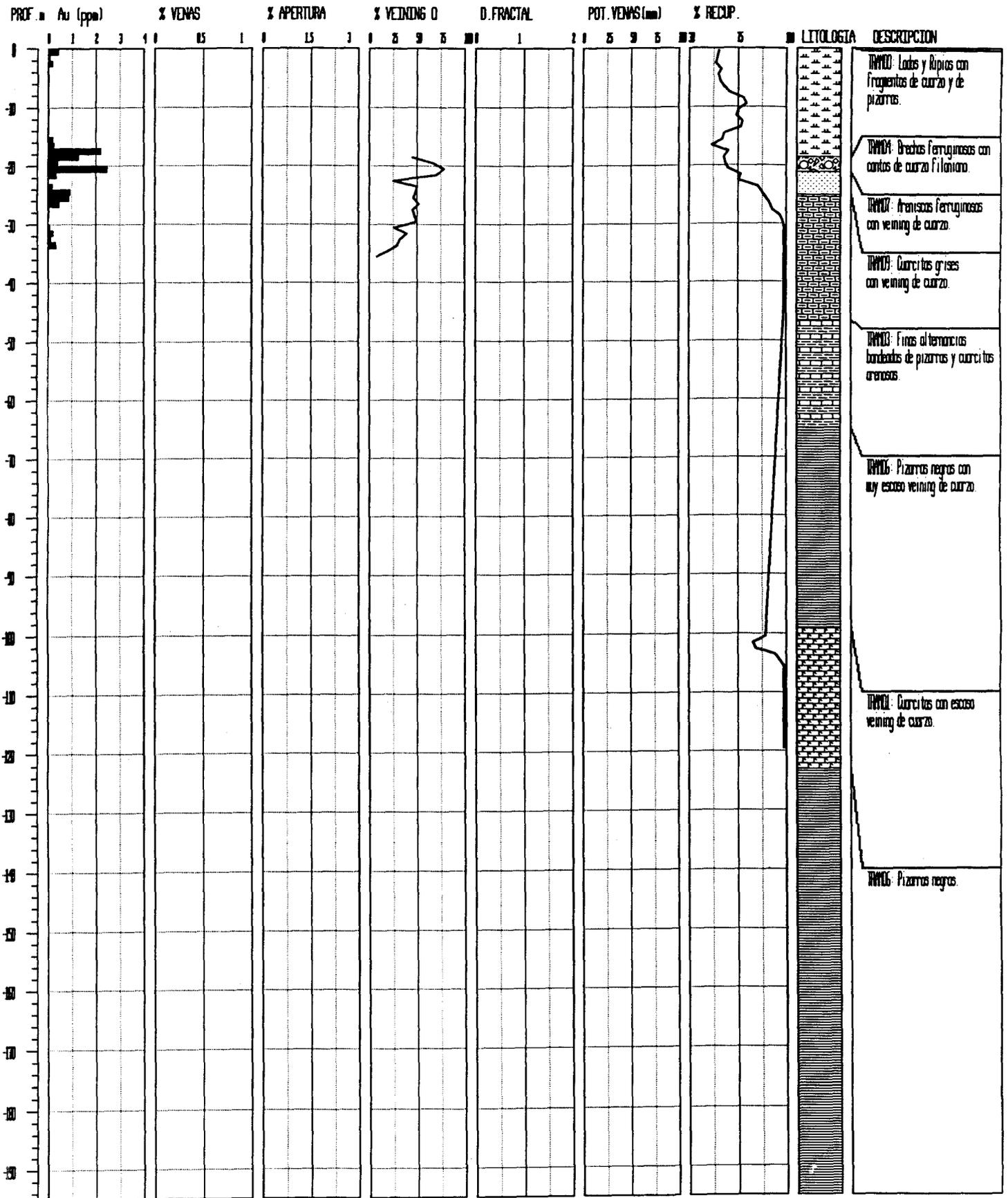


Fig.8.31.- Log del Sondeo CN-2 (ITGE). Coordenadas X=655112, Y=4340546, Cota=427m, dirección 010 /40°. C³ Niña, Barrancones, La Codosera.

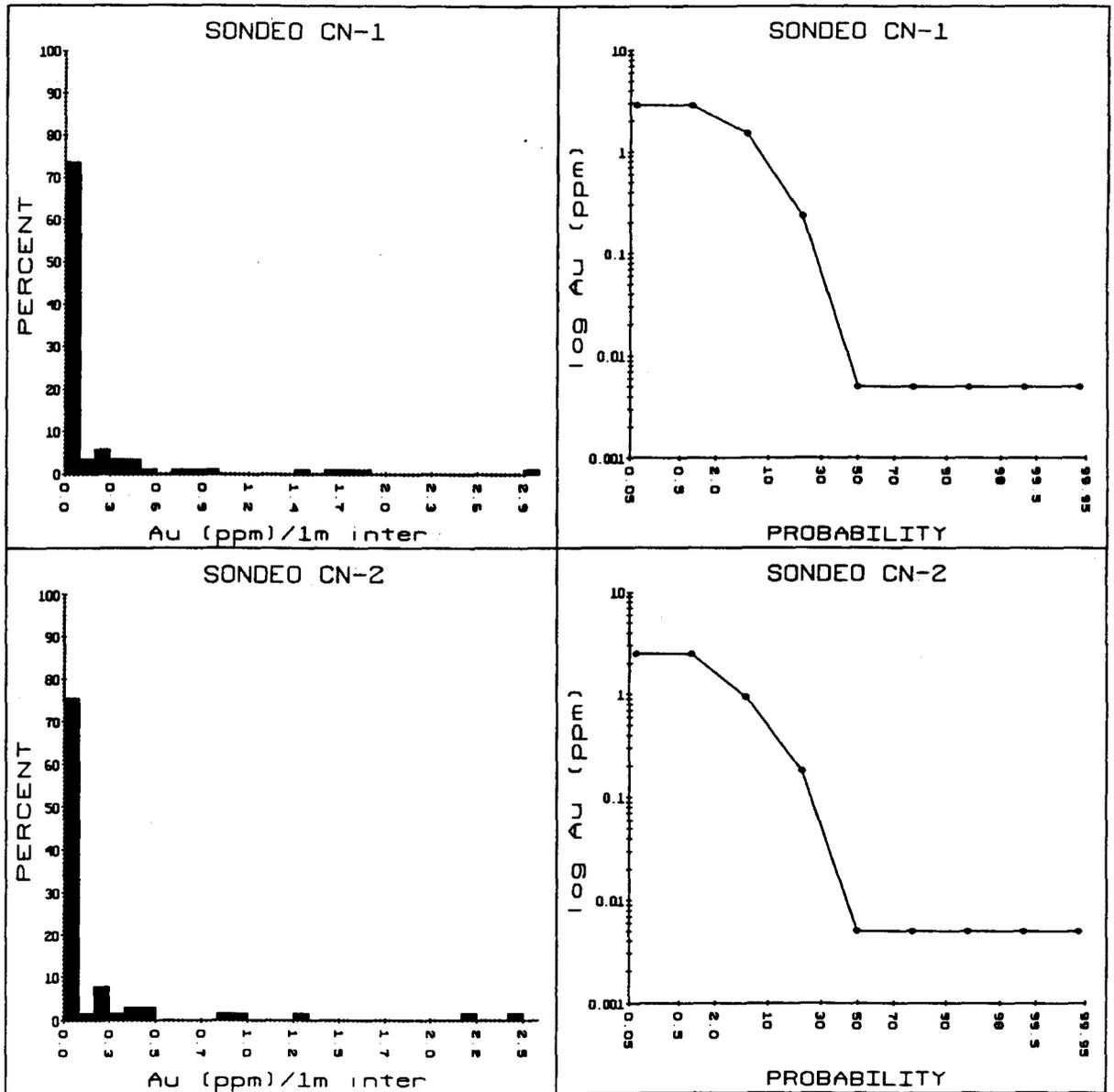


Fig.8.32.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeos CN-1 y CN-2 (C^a Niña, Barrancones,Codosera).

LOG CN-3. - C. BARRANCONES

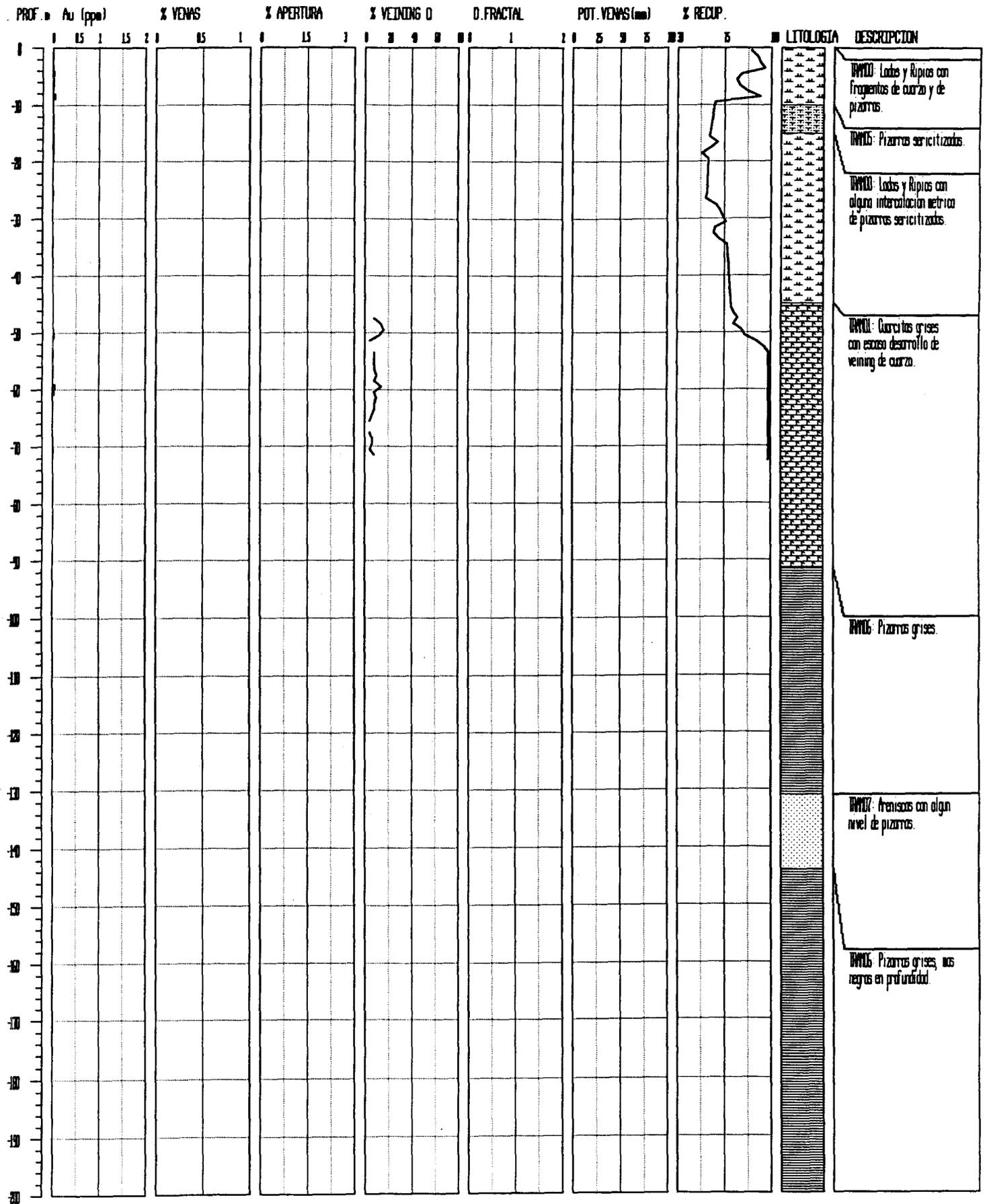


Fig.8.33.- Log del Sondeo CN-3 (ITGE). Coordenadas X=655056, Y=4340512, Cota=425m, dirección 010 /40°. C^a Niña, Barrancones, La Codosera.

LOG CN-4. - C. BARRANCONES

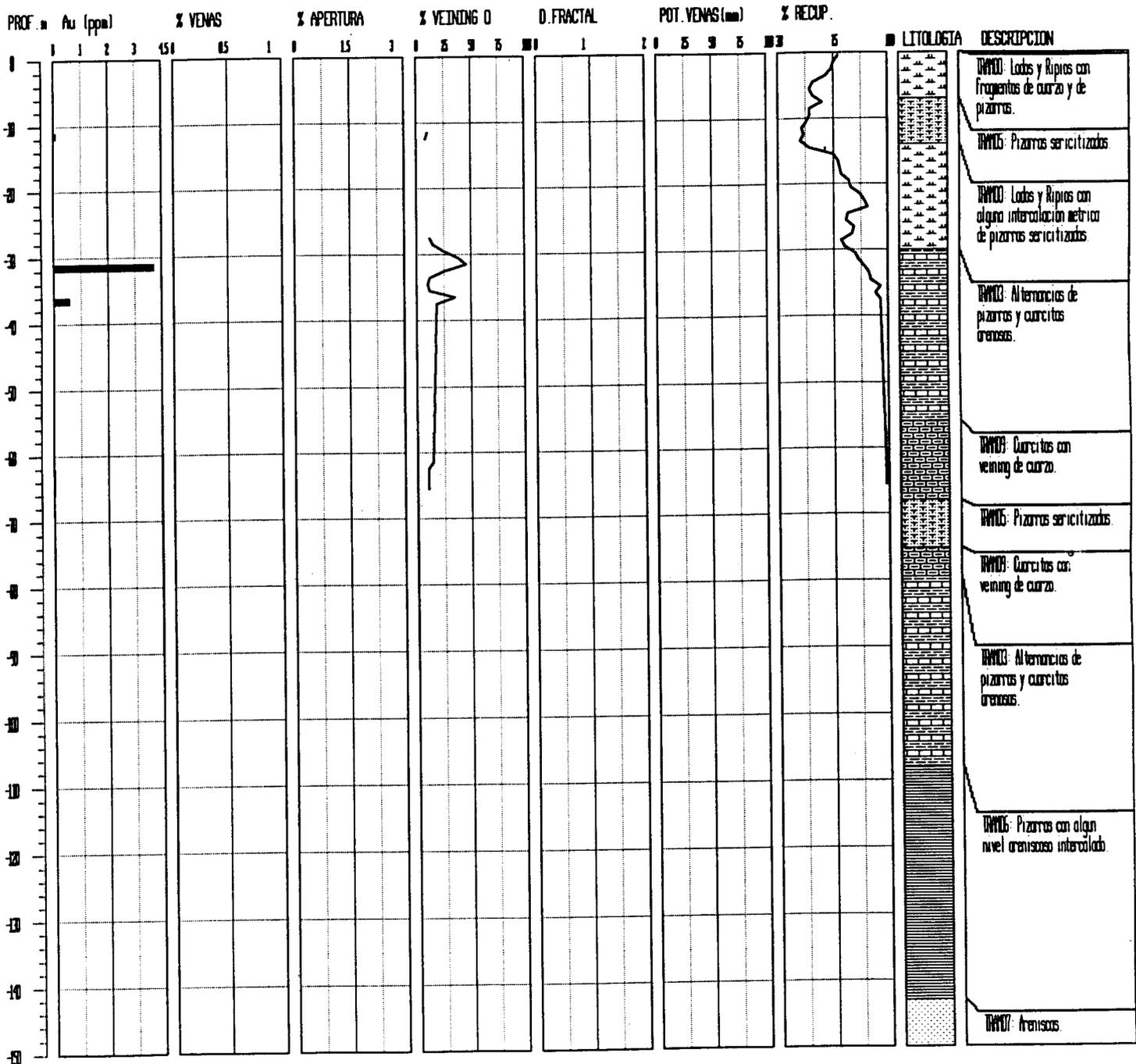


Fig.8.34.- Log del Sondeo CN-4 (ITGE). Coordenadas X=655006, Y=4340528, Cota=427m, dirección 010 /40°. C^a Niña, Barrancones, La Codosera.

LOG CN-5. - C. BARRANCONES

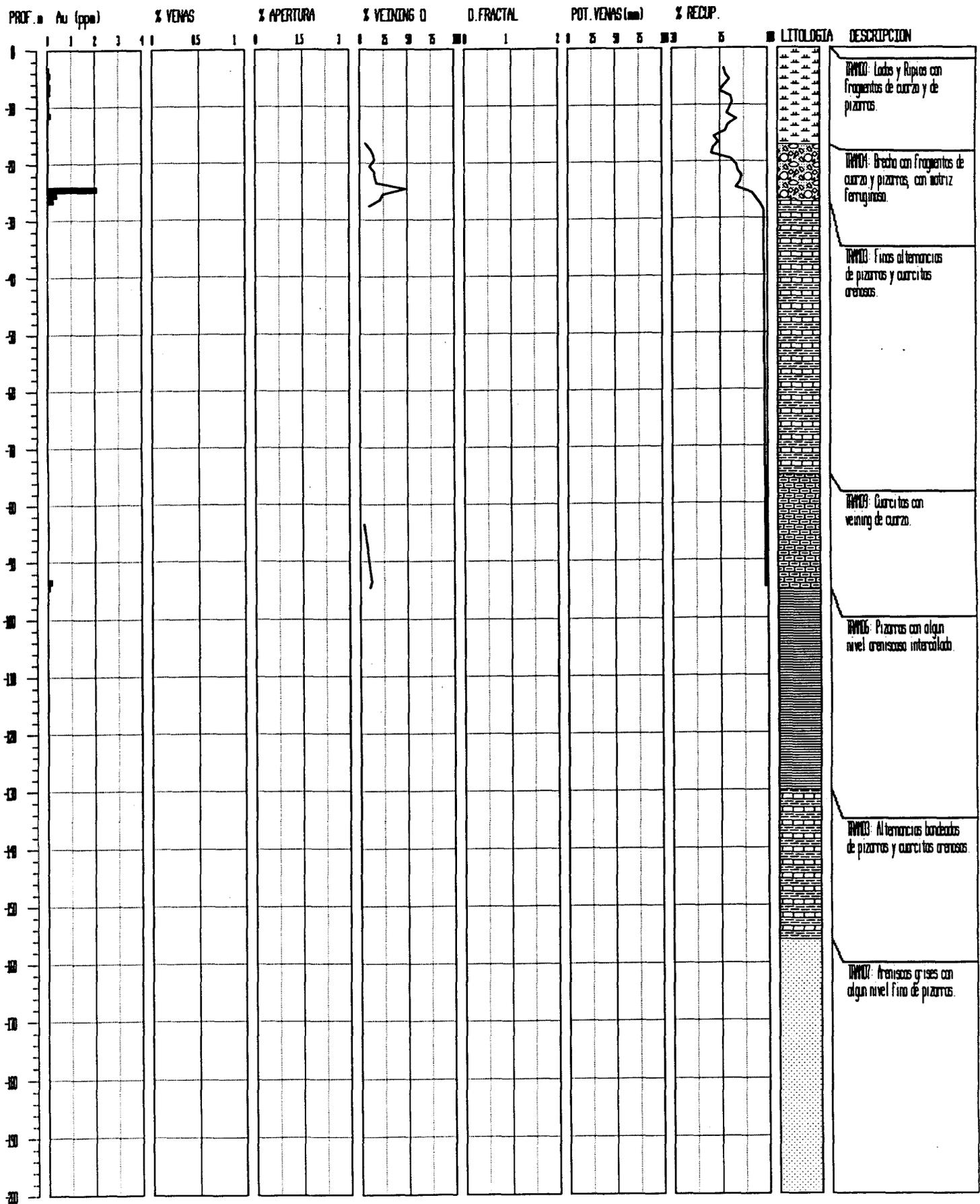


Fig.8.35.- Log del Sondeo CN-5 (ITGE). Coordenadas X=654920, Y=4340554, Cota=431m, dirección 010 /30°. C^a Niña, Barrancones, La Codosera.

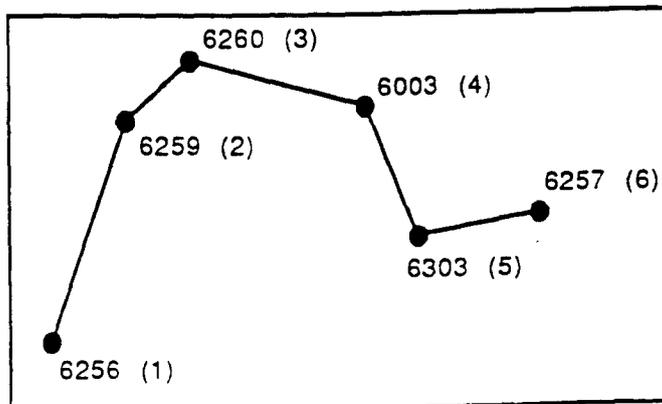
CORRELACIONES DE SONDEOS

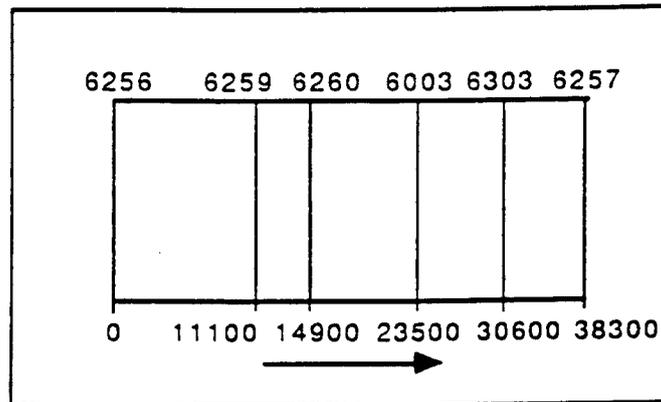
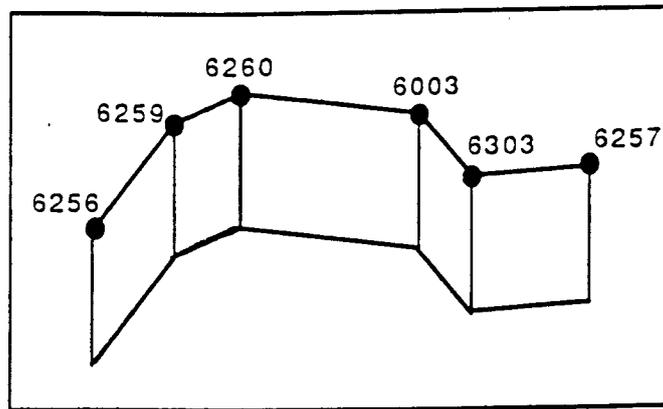
8.3.- Correlaciones de Sondeos (Paneles)

Se han construido cuatro paneles de correlación mediante la opción LogSect del módulo LOGGER del Programa ROCKWARE. La generación de los paneles se ha llevado a cabo mediante la confección de los correspondientes ficheros en los que se han introducido las coordenadas X, Y, Z, de los sondeos y las columnas litológicas. En cada fichero se han especificado aquellos tramos litológicos, que en base a su similitud entre los diferentes sondeos, es factible correlacionar. Este intento de correlación no tienen ningún significado cronoestratigráfico, sino tan solo trata de agrupar aquellos tramos litológicos que presentan analogías. Esto puede tener importancia a la hora de obtener un mejor conocimiento de la litología de la zona y sus posibles implicaciones metalogénicas, pues se visualizan aquellos tramos litológicos en los que se encuentran los contenidos mas elevados de oro. En este caso, por su importancia, se incluyen histogramas de contenidos de Au, a las profundidades correspondientes, lo que sin duda ha contribuido eficazmente a establecer los criterios de correlación.

Las zonas seleccionadas son aquellas en las que, por su importancia y posible potencial, se posee un mejor grado de conocimiento y un mayor número de datos. Estas zonas son las siguientes: La denominada Oeste de Monteviejo que agrupa los sondeos NG-10, CODO-36, CODO-27 y CODO-30 (Primer Panel, Fig.8.36), la "Banda" Norte de Monteviejo en donde se encuentran los sondeos NG-8, NG-5, CODO-34, NG-9 y NG-14 (Segundo Panel, Fig.8.37), la "Banda" Sur de Monteviejo en donde están los sondeos CODO-33, NG-7 y NG-15 (Tercer Panel, Fig. 8.38) y por último la zona denominada C^a de La Niña-Barrancones con los sondeos CN-1, CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5, (Cuarto Panel, Fig.8.39). En estas zonas, además, es donde se ha realizado una modelización de contenidos de oro, lo que se aborda en el capítulo 10 de esta memoria.

La siguiente secuencia de ilustraciones ayuda a comprender mejor el proceso de generación de los paneles de correlación. Cada punto es un sondeo, el cual viene definido por sus coordenadas y entre paréntesis el número correspondiente del sondeo en la sección. Las líneas entre sondeos se han dibujado para visualizar las diferentes posiciones espaciales de los sondeos. Si se imagina una serie de rectángulos que unen cada dos sondeos, a lo largo de la sección, el panel de correlación se construye si se "estiran" los límites de la sección y los rectángulos de esta forma se estrechan y se alinean en un plano (Panel).





En el Primer Panel de correlación (Fig.8.36) se puede observar que las alternancias de cuarcitas y pizarras, junto con las cuarcitas brechoides y el techo del tramo de pizarras negras pueden servir de tramos-guía de correlación, aunque muestran poca continuidad en general. Además, los mayores contenidos de oro se encuentran situados en los primeros 50m desde la superficie y asociados a venas en cuarcitas y areniscas alternantes, y en los tramos de brechas con fragmentos de cuarzo y cuarcitas con matriz ferruginosa.

En el Segundo Panel de correlación (Fig.8.37) son los tramos de pizarras sericíticas los que pueden considerarse como guías para la correlación, junto con el techo de las pizarras negras, a veces ampelíticas, que suelen aparecer a muro de las alternancias de cuarcitas y pizarras. Al igual que en la anterior sección, los niveles de brechas con fragmentos de cuarzo, en matriz ferruginosa, suelen presentar elevados contenidos en oro. En esta sección se han observado elevados contenidos de oro, asociados a venas en pizarras sericíticas, hasta una profundidad de 80m desde la superficie (Sondeo NG-8, Fig. 8.37).

En el Tercer Panel de correlación (Fig.8.38) se observa como los cambios laterales de facies y la falta de continuidad de los niveles litológicos es una característica dominante en la zona. De forma que, es difícil asegurarse de la situación de los tramos en detalle, dentro de la serie estratigráfica y además hay repeticiones de niveles. En este Panel de correlación el único tramo que se ha utilizado como guía ha sido el techo de las pizarras sericíticas, aunque su correlación en esta sección es difícil. Respecto a los contenidos de oro hay que señalar que, en esta sección se han observado venas en diferentes litologías y a diferentes profundidades, llegando hasta los 100m desde la superficie (Sondeos CODO-33 y NG-15, Fig. 8.38).

El Cuarto Panel de correlación (Fig.8.39) corresponde a la zona de la C^a de La Niña-Barrancones, y en este área, las expectativas se crearon por la aparición, en los primeros sondeos que se realizaron, de una brecha ferruginosa con fragmentos de cuarzo con altos contenidos de Au (Sondeo CN-1, Fig.8.39). Los restantes sondeos se hicieron con objeto de investigar la continuidad lateral de este tramo, y en profundidad para observar la aparición de otros tramos brechoides que habían sido detectados en la cartografía geológica de superficie y en las calicatas de exploración realizadas. Como puede observarse en el Panel de correlación, la continuidad lateral de la brecha superficial del sondeo CN-1 hacia el Oeste es escasa, y en conjunto, los contenidos de oro son más pobres que en las áreas anteriores. Igualmente, en profundidad no se detectaron suficientes tramos de brechas como para poder continuar allí la investigación. No obstante, la profundidad alcanzada por los sondeos ha servido para mejorar el conocimiento litológico de la zona y de esta forma apoyar las correlaciones efectuadas. Se comprueba que los niveles de cuarcitas, con o sin abundante desarrollo de veining de cuarzo, aunque es difícil, a veces pueden correlacionarse, así como los tramos de alternancias de cuarcitas y pizarras, y finalmente, los niveles de areniscas y pizarras negras que se encuentran a muro de las alternancias.

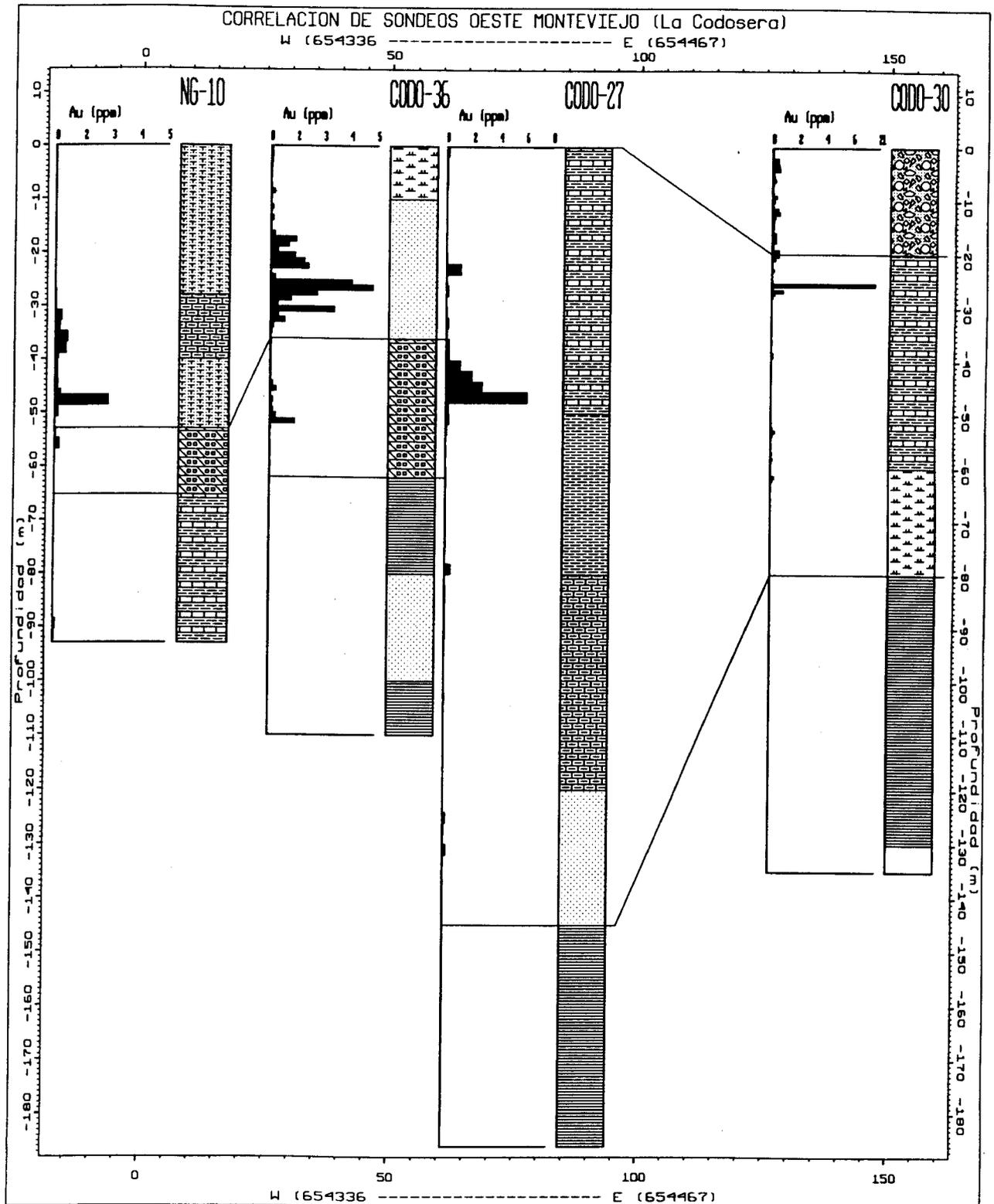


Fig.8.36.- Primer Panel de correlaciones de sondeos.(Oeste de Montevideo, La Codosera)

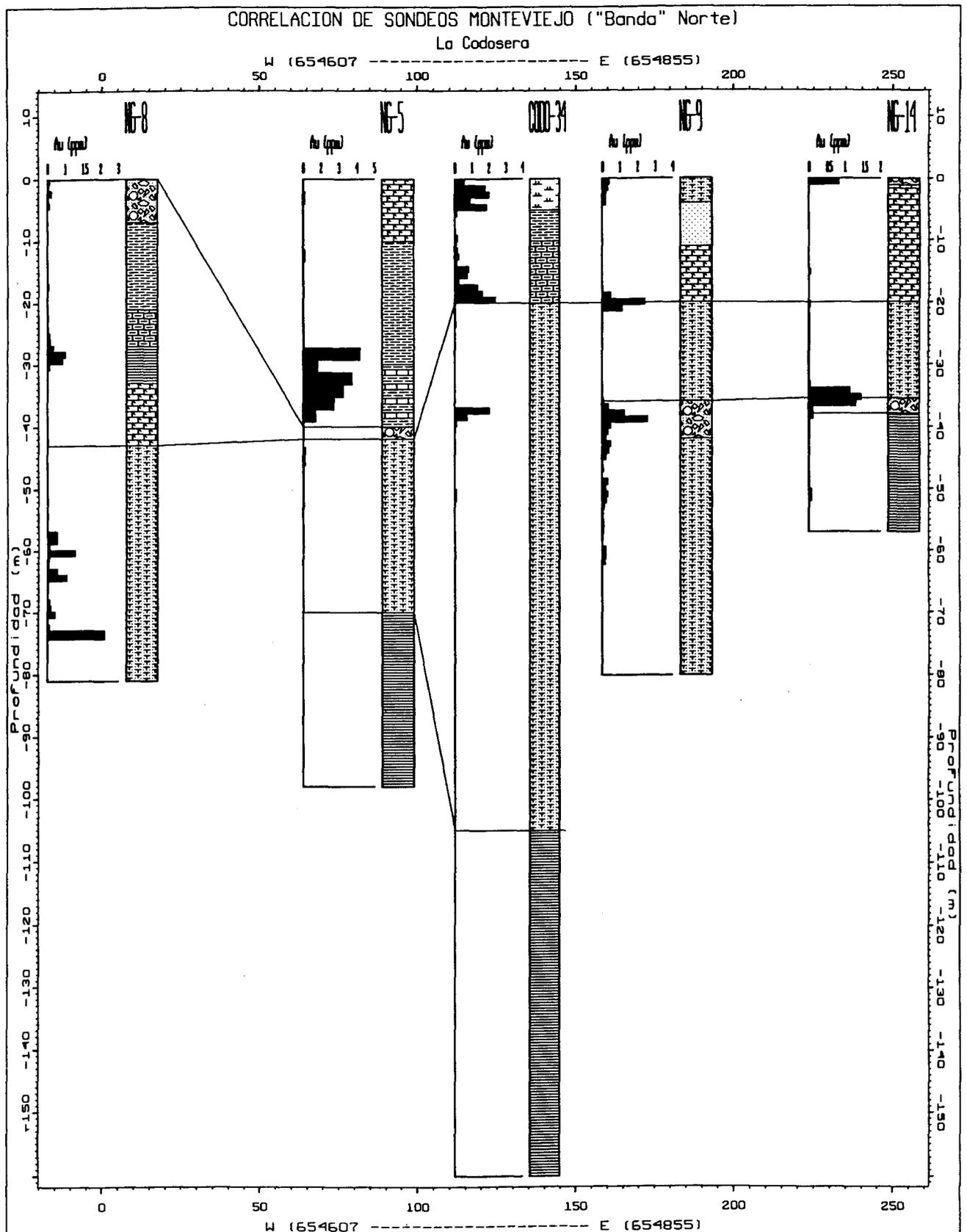


Fig.8.37.- Segundo Panel de correlaciones de sondeos. ("Banda" mineralizada Norte de Monteviejo, La Codosera)

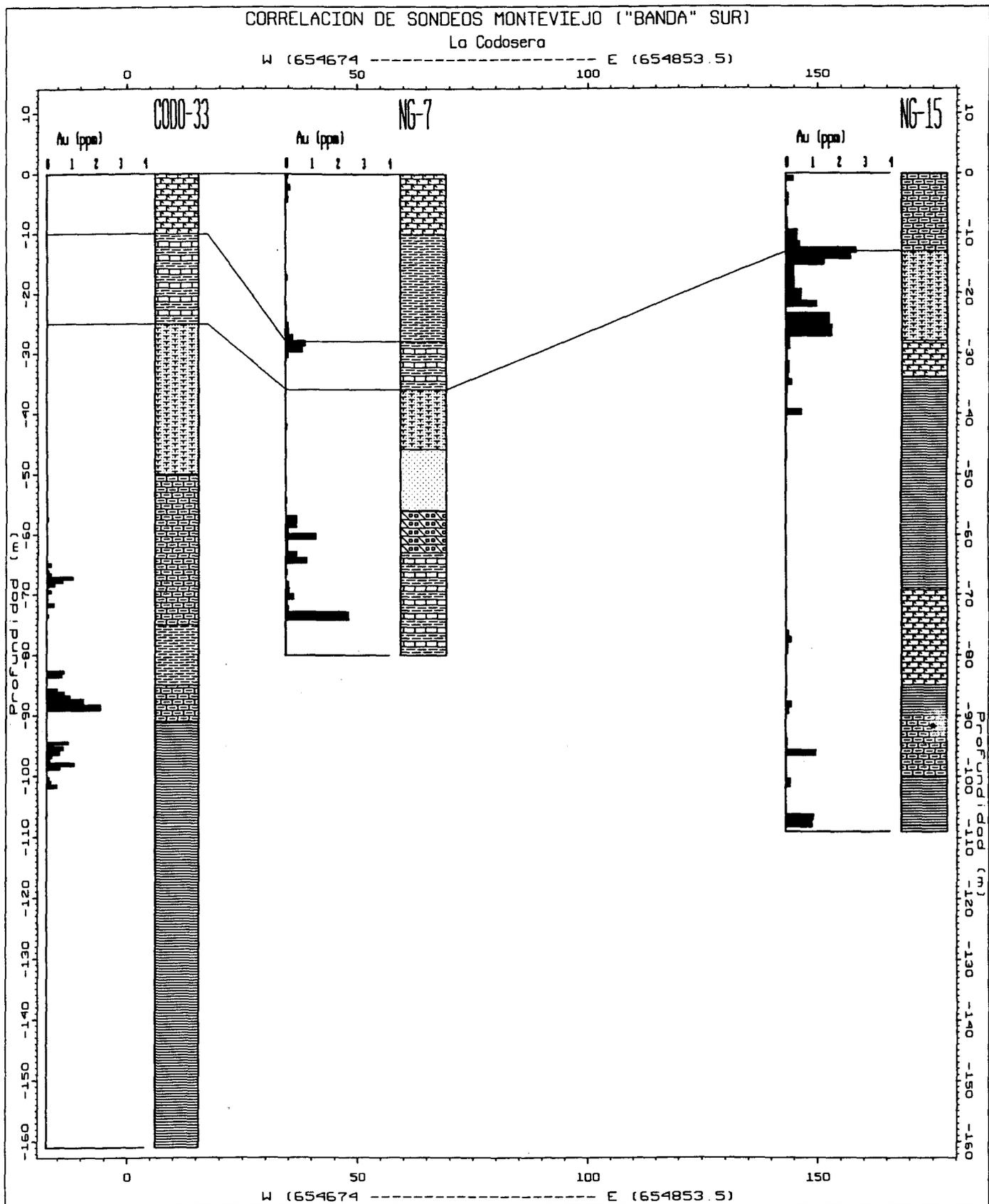


Fig.8.38.- Tercer Panel de correlaciones de sondeos.("Banda" mineralizada Sur de Monteviejo, La Codosera)

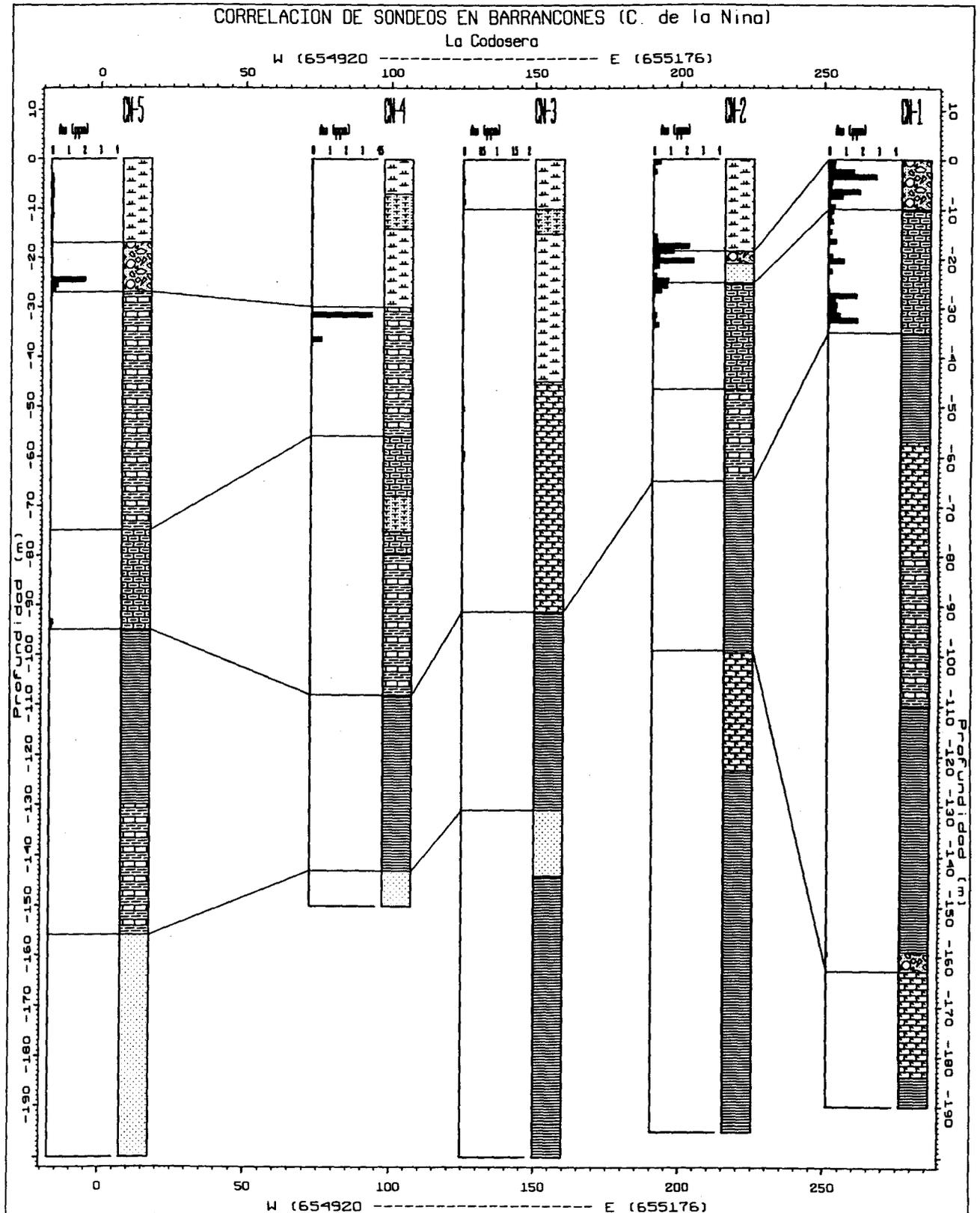


Fig.8.39.- Cuarto Panel de correlaciones de sondeos.(C^a de La Niña, Barrancones, La Codosera)

CAPITULO 9

CAPITULO 9.- CONTRIBUCION DEL ANALISIS FRACTAL A LA DISCRIMINACION DE SISTEMAS FILONIANOS

En este capítulo se estudia la naturaleza y geometría fractal de varios sistemas filonianos auríferos de La Codosera (Badajoz). Se ha elegido esta zona como representante de conjuntos filonianos con mineralización de oro en rocas paleozoicas, asociados a una zona de cizalla (La zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba).

Se ha intentado, por primera vez, caracterizar formalmente los conjuntos filonianos, estudiar su organización interna y distribución, y cuantificar el grado de irregularidad de cada uno mediante su dimensión fractal. Este parámetro, específico de cada conjunto, se ha relacionado con su contenido en oro, con objeto de comprobar si es posible discriminar los diferentes grupos filonianos mineralizados y distinguirlos de los estériles en base a las características de su geometría fractal.

La dimensión fractal (D) se puede obtener a partir de la medida directa de espesores de venas, cuya distribución es fractal según la relación $N_{(t)} = Ct^{-D}$, donde $N_{(t)}$ es la frecuencia acumulada del número de venas con espesor $>$ que t , C es una constante de proporcionalidad, t el espesor y D la dimensión fractal. Se ha observado que mayor contenido en oro se correlaciona con menor dimensión fractal. $D < 1$ en conjuntos filonianos con mas alto contenido en oro, y $D > 1$ en aquellos conjuntos que tienen menores contenidos en oro.

Por último, los resultados que aquí se presentan pueden servir de referencia, y quizás en un futuro próximo, este método de discriminación puede ser de gran utilidad en la exploración de yacimientos filonianos de características similares.

9.- CONTRIBUCION DEL ANALISIS FRACTAL A LA DISCRIMINACION DE SISTEMAS FILONIANOS AURIFEROS EN LA CODOSERA

9.1.- Introducción

Cada día son más abundantes y sofisticadas las nuevas técnicas, que de forma multidisciplinar, se están aplicando a la exploración de yacimientos minerales. El desarrollo tecnológico, en especial el avance informático de los últimos diez años ha proporcionado medios cada vez más eficaces de análisis, observación y tratamiento conjunto de los datos, lo que da lugar al establecimiento de modelos cada vez más rigurosos y completos. A partir de los descubrimientos de Mandelbrot (1967) sobre la geometría fractal de la naturaleza, comienzan a aplicarse estos conceptos, especialmente en los campos de sismología - relaciones de magnitud de terremotos - Gutenberg & Richter (1954), Turcotte (1989), y geología estructural - relaciones de desplazamiento en fallas - Kakimi (1980), Scholz & Covie (1990), Walsh et al. (1991). Igualmente, Turcotte (1986-89) comprueba que las relaciones entre tonelaje/ley de algunos yacimientos de Estados Unidos muestran distribuciones fractales.

El concepto de Fractal, del latín "fractus", se debe a Mandelbrot (1967) quien lo aplicó a los objetos naturales que tienen en común el hecho de poseer una forma sumamente "irregular" ó interrumpida. Una de las características principales de cualquier objeto fractal es su dimensión fractal que se denota con la letra D y que mide su grado de irregularidad o interrupción. Los fractales se basan en el concepto de autosimilitud, una propiedad que presentan aquellos sistemas cuyas estructuras permanecen constantes al variar la escala de observación; en otras palabras, cuando "las partes", por pequeñas que éstas sean, se parecen al "todo".

Una distribución es fractal cuando un número de objetos N, con una dimensión lineal característica r (tamaño, espesor, desplazamiento etc.) satisface la relación:

$$N_{(r)} = C/r^D \text{ o bien, } N_{(r)} = C r^{-D} \quad (1)$$

donde C es una constante de proporcionalidad, y D es la dimensión fractal, la cual se obtiene de la ecuación anterior por logaritmos,

$$\log N_{(r)} = \log C - D \log r, \text{ y por lo tanto}$$

$$D = (\log N_{(r)} - \log C) / \log(1/r)$$

Dimensión fractal (D): en sentido genérico, es un número que sirve para cuantificar el grado de irregularidad y fragmentación de un conjunto geométrico, o de un objeto u objetos naturales.

Recientes avances en el conocimiento de los fractales y en el desarrollo de técnicas para medir la Dimensión fractal, han dado lugar a nuevos campos de aplicación en la industria mineral, tanto en la exploración como en la producción.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos sobre la caracterización y discriminación de los sistemas filonianos mineralizados de la zona de La Codosera (Badajoz) como representantes de conjuntos filonianos con mineralización de oro en rocas paleozoicas, asociados a una zona de cizalla (La zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba - BCSZ- Fig.9.1).

Por primera vez, se ha prestado especial atención a estas mineralizaciones desde un punto de vista geométrico, en un intento de discriminar y caracterizar formalmente el grado de irregularidad de los grupos filonianos. La cuantificación de ese grado de irregularidad, es decir de su organización interna y distribución, mediante el estudio de los parámetros que caracterizan su geometría fractal, concretamente su dimensión fractal, ha permitido discriminar los diferentes grupos filonianos mineralizados y distinguirlos de los estériles. Esto puede suponer un gran avance en el conocimiento de estos yacimientos, que tradicionalmente han sido considerados como erráticos o irregulares, y al mismo tiempo puede ser de gran utilidad de cara a su exploración.

Por otra parte, este trabajo es el resultado del avance del conocimiento en la línea de investigación ya comenzada por Sanderson et al., (in litt.) y Gumiel et al., (1992 a y b), sobre el uso del análisis fractal como discriminación de sistemas filonianos auríferos en el área de La Codosera.

9.2.- Distribución de potencias de los sistemas filonianos en sondeos y afloramientos.

La Codosera es un área de especial interés, en la que el ITGE viene desarrollando una serie de Proyectos de exploración, desde el año 1984, encaminados a valorar el potencial minero que representan sus mineralizaciones auríferas. Por esta razón, se disponía de un conocimiento geológico de infraestructura, así como de un importante número de sondeos (6800m.). Además de la información "tradicional" que éstos suministran, surgió la idea de querer avanzar más en el conocimiento de la organización y distribución de los diferentes sistemas filonianos que existen en el área, los cuales presentan esa característica principal común, que es su "irregularidad".

Una de las formas de abordar el estudio del grado de organización de un conjunto filoniano es mediante la aplicación de técnicas de análisis fractal, cuantificando el grado de irregularidad de cada uno mediante su dimensión fractal (D). Para el cálculo de la misma, Sanderson et al., (in litt.) establecieron una metodología basada en el estudio sistemático de los espesores de las venas en testigos de sondeos, la cual se introdujo en la testificación de rutina y arrojó unos resultados que posteriormente fueron corroborados en un estudio preliminar de afloramientos (Gumiel et al.1992a). Se ha elegido la medida de espesores de venas para la obtención de la dimensión fractal, porque la potencia es una dimensión lineal que se puede medir fácil y directamente, y porque refleja el gradiente de desplazamiento de las fracturas (apertura), que han sido

utilizadas por los fluidos mineralizadores para dar lugar a las venas.

En sondeos, el procedimiento que se siguió fué el examen detallado del testigo. Una vez cortado, una mitad fué analizada y la otra se conserva para estudios posteriores (ej., propiedades físicas de las rocas, permeabilidad, porosidad, etc.). El sondeo se dividió en intervalos de 2m y en la cara cortada del testigo, se midieron las potencias de todas las venas intersectadas mayores de 1mm (límite inferior o de truncación). Las venas en los testigos, rara vez sobrepasan los 100mm de espesor y la mayoría son menores de 10mm. El diámetro normal del testigo oscila entre 50 y 80mm, siendo suficientemente grande esta sección, en comparación con las potencias de las venas intersectadas, como para considerarse un área de muestreo representativa.

La mayoría de los sondeos son inclinados, y cortan a los planos de estratificación con ángulos comprendidos entre 30° y 50°. Las familias de venas son intersectadas a moderados ángulos (60°-Fig.9.2/3- y 30°-Fig.9.2/4-) con respecto al eje del sondeo, minimizándose de esta forma, los posibles errores (bias) debidos a la orientación de los testigos. Una alternativa de muestreo es dibujar una línea en el centro del testigo y aplicar una corrección de orientación (Terzaghi, 1965; Barton y Zoback, 1990), lo cual da lugar a resultados, que aunque más rigurosos, se ha comprobado que no difieren mucho de los obtenidos sin aplicar dicha corrección, lo que además supone un ahorro de tiempo. Por otra parte, aunque existe un error debido a la anchura finita del área de muestreo en la sección del testigo, éste es muy pequeño y de la misma magnitud en todos los intervalos medidos.

El análisis de espesores de venas en afloramientos se empezó a utilizar como un método eficaz de discriminación de sistemas filonianos auríferos en otras zonas del Sinclinal de La Codosera (Gumiel et al., 1992 a). Este método consiste en la medida sistemática de todas las potencias de las venas intersectadas en una "línea o líneas transversales" a los conjuntos filonianos (Fig.9.2/2). Al mismo tiempo, se mide la orientación espacial de cada vena y se tiene en cuenta cualquier característica geológica de interés, como litología, condiciones de fracturación etc., que pueda ser útil en el estudio del afloramiento.

Todos los datos obtenidos son recogidos en un estadillo de campo diseñado para este trabajo. Al mismo tiempo, en la misma línea de toma de datos, se ha realizado un muestreo mediante rozas en canal (channel sampling) para su posterior análisis químico, con objeto de conocer su contenido metálico. Posteriormente, todos los datos son informatizados en una programa especialmente preparado para este tipo de análisis fractal (Sanderson cont.pers).

Los métodos de análisis de potencias de venas en afloramientos o en testigos de sondeo son unidimensionales, puesto que en ambos se analiza una línea, que se puede dibujar en el testigo, o en el afloramiento, en una transversal al haz filoniano correspondiente (Fig.9.2/2), y de forma objetiva, se mide la potencia de todas las venas que se observen en dicha línea o sección. En la práctica, pueden surgir complicaciones al tratar de distinguir el trazado de venas individuales en haces irregularmente

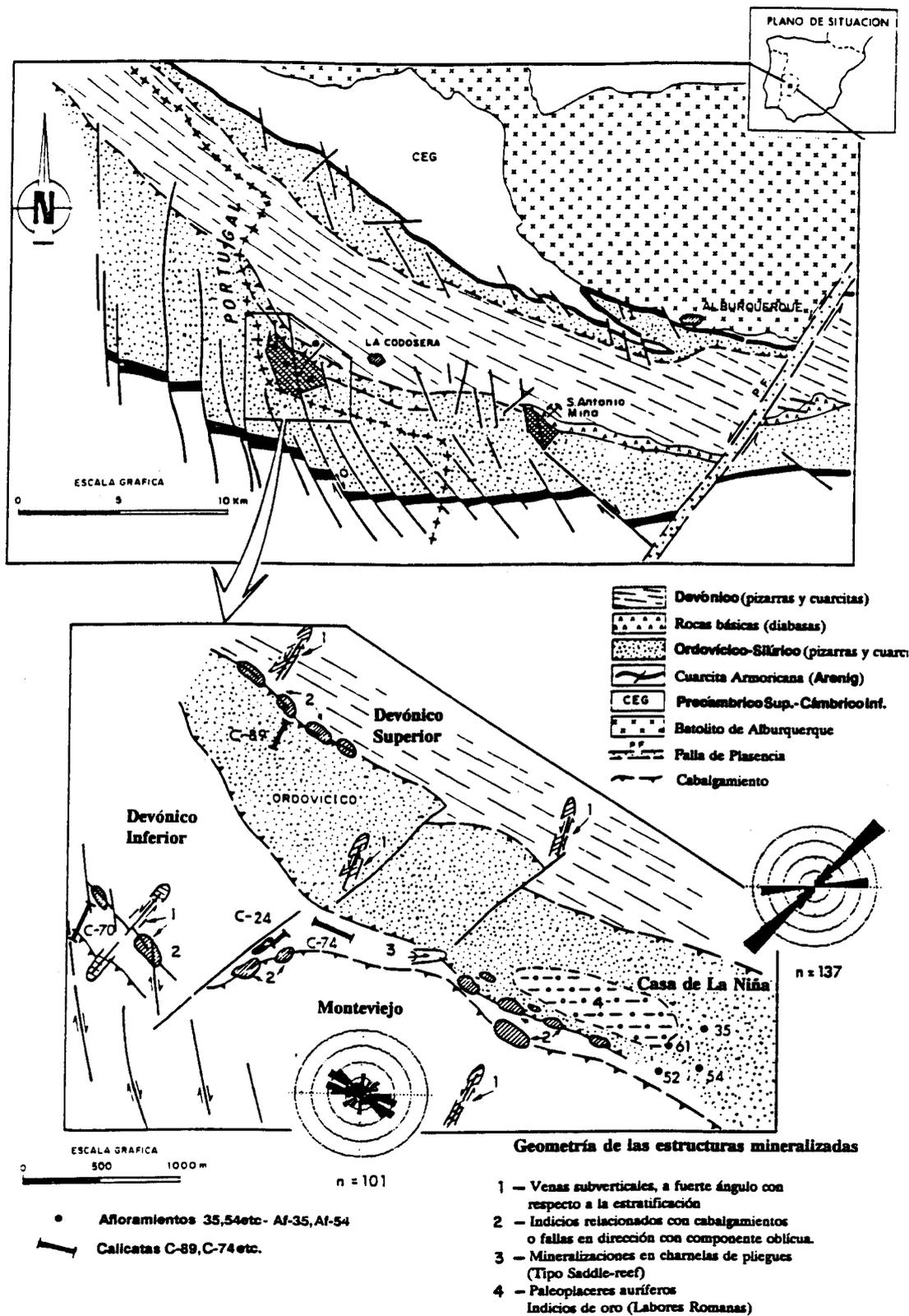


Fig.9.1.- Esquema Geológico del Sector Central del Sinclinal de La Codosera. Situación de calicatas en donde se midieron venas mineralizadas.

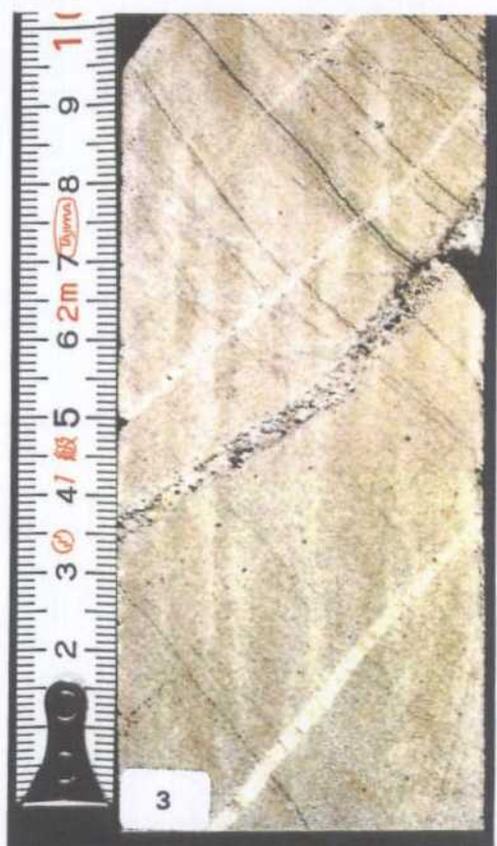


Fig.9.2.- 1.- Oro nativo en cuarzo filoniano. Los Algarbes, La Codosera

2.- Venas de cuarzo en cuarcita. Transversal de toma de datos (potencias de venas y análisis). Casa de la Niña, La Codosera

3.- Venas a alto ángulo con respecto al eje del Sondeo ($60^{\circ}N$) y perpendiculares a la estratificación. Sondeo Codo-27, La Codosera.

4.- Venas a bajo ángulo con respecto al eje del Sondeo ($30^{\circ}N$) y perpendiculares a la estratificación. Sondeo NG-10, La Codosera.

ramificados (ej, cuando hay un veining de cuarzo; entendiendo por veining, las finas venillas de cuarzo irregulares y generalmente de poco espesor, que se presentan en retículas en determinados afloramientos, especialmente en cuarcitas).

En contraste con el método de análisis de venas en sondeos, la medida de espesores de venas en afloramientos tiene las siguientes ventajas; en primer lugar, se minimizan los errores debidos a la orientación, puesto que en afloramientos se conoce la orientación real de las venas. En segundo lugar, dada las características del área de muestreo en afloramientos superficiales, no es tan importante el límite superior (censoring), el cual puede variar dependiendo de la longitud de la línea de muestreo. Por ejemplo, en las calicatas o afloramientos con líneas transversales de mas de 30m de longitud, se han considerado venas hasta de 300mm, o bien, se han medido todas las venas, sin excepción, que eran intersectadas en dichas líneas de muestreo. Este método, junto con un riguroso control de espaciado intervenas es el que se ha aplicado en todos los afloramientos seleccionados.

A continuación, y una vez resumidas las principales características del procedimiento que se ha seguido en la toma de datos en sondeos y afloramientos, se van a ir presentando los principales resultados.

De la medida sistemática de los espesores de las venas en los testigos de sondeo, en un número que se considera suficientemente representativo (3760 medidas - Tabla II -), se han reconocido tres familias de venas que se han referenciado con respecto al eje del sondeo y a los planos de estratificación. Hay una paralela (codificada 60P) y dos normales a la estratificación (60N y 30N) según se dispongan a alto (60°-Fig.9.2/3-) o bajo ángulo (30°-Fig.9.2./4-) con respecto al eje del sondeo. Sanderson et al., (in litt.) comprueban que los espesores de las mismas muestran distribuciones bilogarítmicas de tipo exponencial (power law), según la relación fractal (2) $N_{(t)} = Ct^{-D}$, donde $N_{(t)}$ es la frecuencia acumulada del número de venas con espesor $>$ que t , C es una constante de proporcionalidad, t el espesor y D la dimensión fractal.

El análisis se realizó sistemáticamente, ordenando los distintos grupos de venas según los espesores y determinando su frecuencia acumulada. Los datos se han representado en diagramas bilogarítmicos $\log N - \log t$, utilizando medias móviles, con objeto de obtener mayor número de venas en cada gráfico log-log (en este caso, se han agrupado venas cada 5 intervalos de 2 metros). De los diagramas bilogarítmicos se han obtenido las dimensiones fractales de los diferentes conjuntos filonianos intersectados, bien por tramos, o para el total de venas de cada sondeo estudiado (Fig.9.3).

Al interpretar la forma de las curvas de distribución en los diagramas bilogarítmicos, hay que tener en cuenta las siguientes consideraciones; en primer lugar, que hay una falta de datos de las venas que son muy finas, es decir las que estan por debajo del límite de truncación (inferiores a 1mm). En segundo lugar, que hay una supervaloración en las medidas de las venas de 1mm de potencia, lo que puede justificar algún agrupamiento de puntos en los intervalos inferiores, siendo éste tan solo aparente.

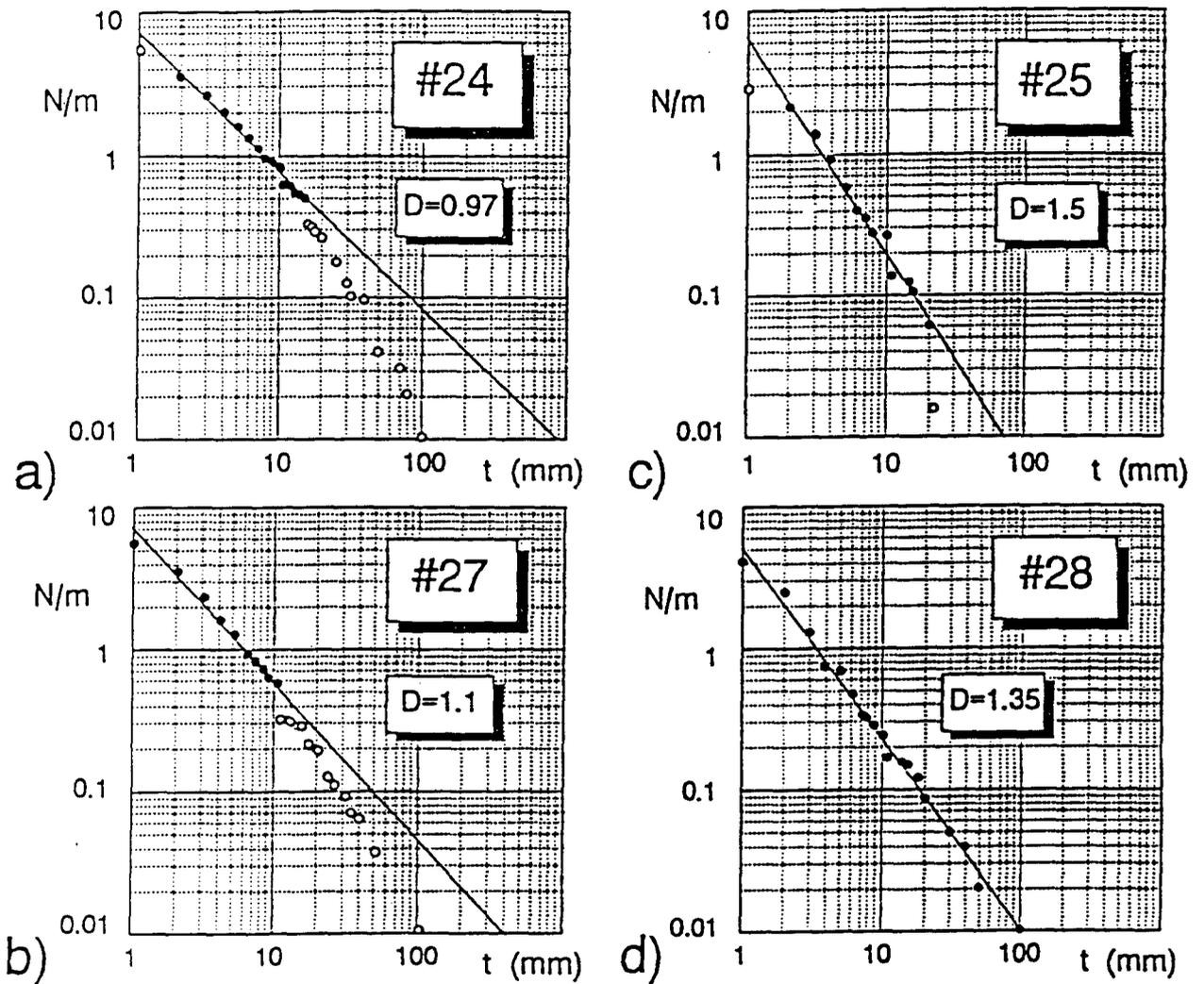


Fig. 9.3.- Gráficos log N/m log t, (N/m=número de venas por metro de testigo, t=potencia) de venas de alto ángulo (60°N) en los Sondeos; Codo-24, 25, 27 y 28. La correlación es muy buena entre 20 y 10mm de potencia de venas (círculos rellenos). Dimensión Fractal (D); D=0.97 en Codo-24, D=1.5 en Codo-25, D=1.1 en Codo-27 y D=1.35 en Codo-28.

En tercer lugar, los problemas generados al ser necesariamente finita la longitud de los intervalos de sondeo. Por esta razón se introduce un límite superior de muestreo (censoring), marcado por aquellas venas que son mayores de 100mm, las cuales en el caso de los sondeos son poco numerosas. En general, se puede decir que las venas paralelas a los planos de estratificación tienen inferiores valores de D (con un rango entre 0.5 y 0.9) que las que cortan con alto ángulo.

Por otra parte, el parámetro D se ha representado gráficamente y añadido a los logs tradicionales de sondeos (Gumiel et al., 1992b) junto con otros datos de interés, tales como, medidas de porcentaje de venas, apertura (suma de espesores de venas, etc.) y su relación con el contenido mineral. De esta forma, de cada sondeo estudiado se obtiene una rápida y fácil visualización de toda la información disponible, con especial incidencia en la discriminación de aquellos grupos de venas mineralizadas, en base a las relaciones entre parámetros de su geometría fractal (C y D) y el contenido metálico. Esta información gráfica puede ser informatizada fácilmente y tiene gran utilidad en la correlación de sondeos (ver Capítulo 8).

9.3.- Densidad de venas y mineralización

Como en el flanco Sur del Sinclinal de La Codosera los afloramientos son muy escasos, o generalmente están mal conservados, el estudio de venas en superficie se ha llevado a cabo en varias calicatas realizadas en el área de interés minero de Monteviejo (Sector Central del Sinclinal de La Codosera), y en afloramientos en la zona de la Casa de La Niña, al Este de Monteviejo (Fig.9.1).

En todas las mineralizaciones estudiadas se confirma que los contenidos metálicos más elevados están asociados con mayor densidad de venas de cuarzo, y en particular con algunos sistemas determinados. Por consiguiente, un primer paso en la investigación es observar las relaciones existentes entre estos dos parámetros: **Venas de cuarzo y contenido metálico.**

En el área de La Codosera las diferentes familias de venas se agrupan siguiendo distribuciones binomiales complejas (Fig.9.6), exponenciales negativas, (distribuciones de Poisson) y en grupos (clustered).

Para el estudio de las venas, tanto en sondeos como en las calicatas y afloramientos, se realizaron medidas de porcentajes de venas y de apertura, sumando los espesores de todas las venas de los diferentes sistemas, por tramos o intervalos. Todos los datos se han representado gráficamente en diagramas integrados, con objeto de tener una fácil visualización, lo más completa posible, de todos los parámetros que sirven para caracterizar los diferentes sistemas de venas. De esta forma, se pueden observar las relaciones de distribución de potencias y densidad de venas, por tramos o intervalos y su contenido metálico, y además, en el caso de afloramientos y calicatas superficiales, la discriminación de los diferentes conjuntos de venas se completa en base a su orientación espacial (Figs.9.4 y 9.5 a/b).

Además, en estos diagramas, al igual que en los utilizados en la testificación de

sondeos, se han representado los gráficos bilogarítmicos $\log N - \log t$, de los que se obtiene la dimensión fractal (D) de los diferentes conjuntos filonianos que se han medido. De esta forma, lo que se ha pretendido es unificar la toma de datos y su representación gráfica, lo cual aumenta la efectividad de un trabajo que necesariamente es rutinario y tedioso.

El primer rasgo significativo es que, en general, las venas intersectadas en las calicatas de exploración que se hicieron en el área de Monteviejo tienen mayores potencias que las que normalmente se observan en los sondeos y en los afloramientos de la Casa de La Niña. Por esta razón, y dada la longitud de las líneas de muestreo utilizadas para el estudio de dichas calicatas, se consideraron todas las venas comprendidas entre 3 y 300mm, variando así los límites de truncación y censoring utilizados en las medidas de potencias de venas en los afloramientos y sondeos estudiados.

En el área de Monteviejo hay una mayor dispersión de orientaciones de venas que en otras zonas del Sinclinal de La Codosera (Figs.9.1 y 9.4). Predominan las venas con direcciones WNW-ESE, comprendidas entre $N120^{\circ}$ - 140° E y $N90^{\circ}$ - 110° E y son de menor importancia, las $N30^{\circ}$ - 50° E, $N20^{\circ}$ - 30° E y 0° - 10° E. Las venas que sufren mayor apertura (dilatación) son las que tienen mayor contenido en Au (entre 0.6 y 1.8 ppm en 10m/intervalo, en las calicatas C-24 y C-74 respectivamente - Fig. 9.4-).

En los afloramientos estudiados del área de la Casa de La Niña, se analizaron las venas con espesores comprendidos entre 1 y 100mm, el mismo intervalo utilizado en los sondeos. Como se puede observar en las Figs.9.1 y 9.5a/b, hay una menor dispersión en la orientación de las venas que en el área anterior, siendo aquellas de direcciones principales NE-SW (venas comprendidas entre $N30^{\circ}$ - 40° E y $N40^{\circ}$ - 50° E) y las ENE-WSW (aquellas comprendidas entre $N70^{\circ}$ - 85° E, afloramiento 61 -Fig.9.5b-), las que sufren mayor grado de apertura y a su vez, también presentan mayor enriquecimiento en oro (ej. 2ppm/en 0.9m - tramo "a" - afloramiento 54, Fig.9.5a y 3.5ppm/en 1m - primer tramo -afloramiento 61, Fig. 9.5b).

Se pueden distinguir tres grupos de venas en base a su contenido en oro y espesor. Las más ricas, con potencias comprendidas entre 30 y 300mm y contenidos en Au entre 0.4 y 3.5ppm, son las venas de los afloramientos 54 y 61 (área de la Casa de La Niña -Fig.9.5a y b-) y las de la calicata 74 (área de Monteviejo -Fig.9.4-). Las que muestran menores contenidos en Au (entre 0.02 y 0.1ppm), que a su vez, son las menos potentes (entre 5 y 100mm) corresponden a las venas de los afloramientos 52 y 35 (área de la Casa de La Niña -Fig.9.5a y b -). De igual forma, las venas de la calicata 24 de Monteviejo tienen mayores potencias (entre 100 y 700mm) y contenidos en oro que se pueden considerar intermedios entre los dos anteriores (comprendidos entre 0.1 y 0.6ppm -Fig.9.4-).

Finalmente, hay un hecho importante a resaltar y es que, aunque haya una gran densidad de venas, con un espesor total o grado de apertura muy considerable, muchas veces no hay mineralización de oro (ej., afloramientos 35, y 52 - Fig.9.5a/b -). Este hecho puede estar relacionado con la organización fractal de los conjuntos filonianos y una forma de estudiarlo es mediante su dimensión fractal.

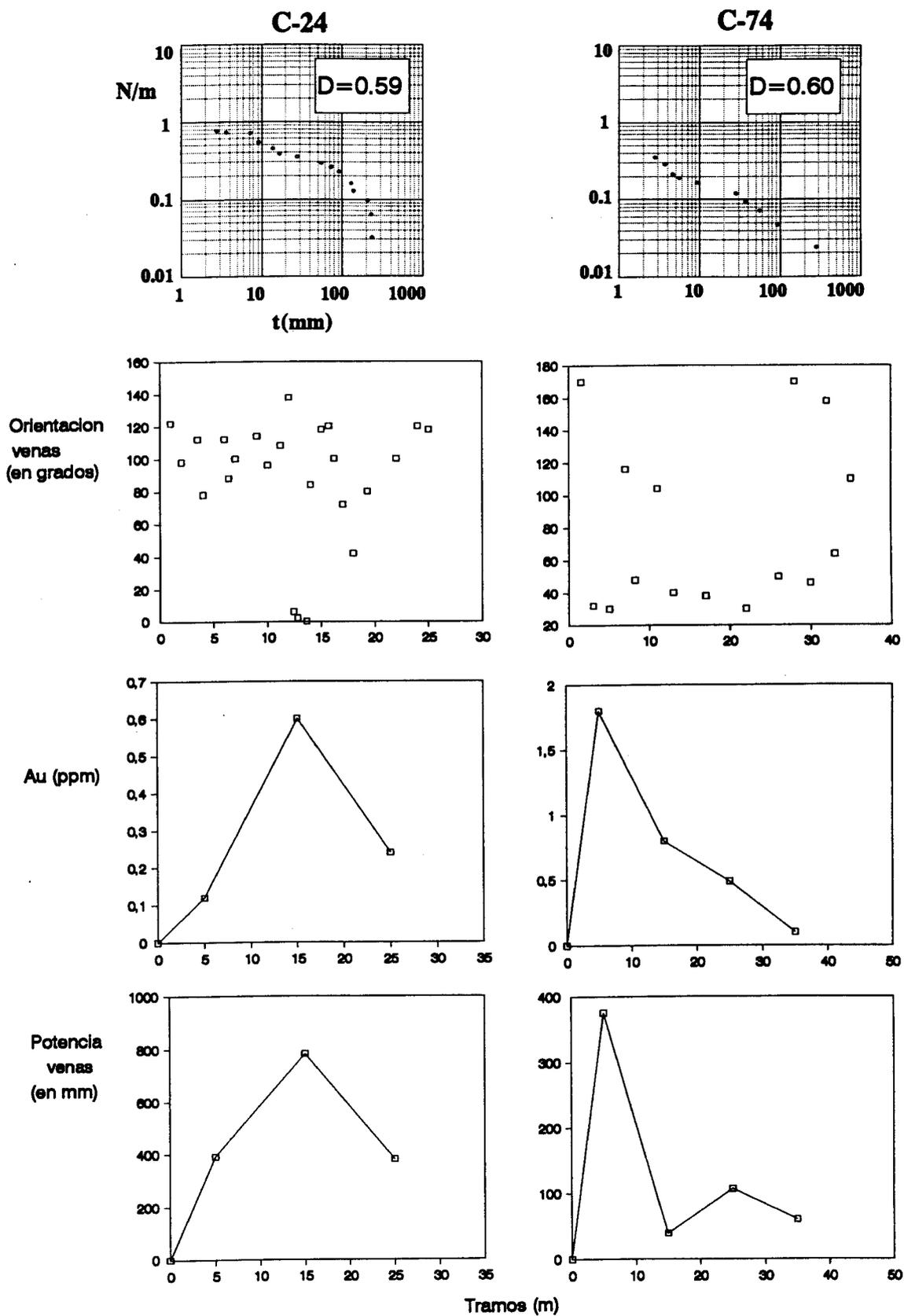


Fig.9.4.- Análisis de venas en las calicatas (24 y 74) (Monteviejo, La Codosera)

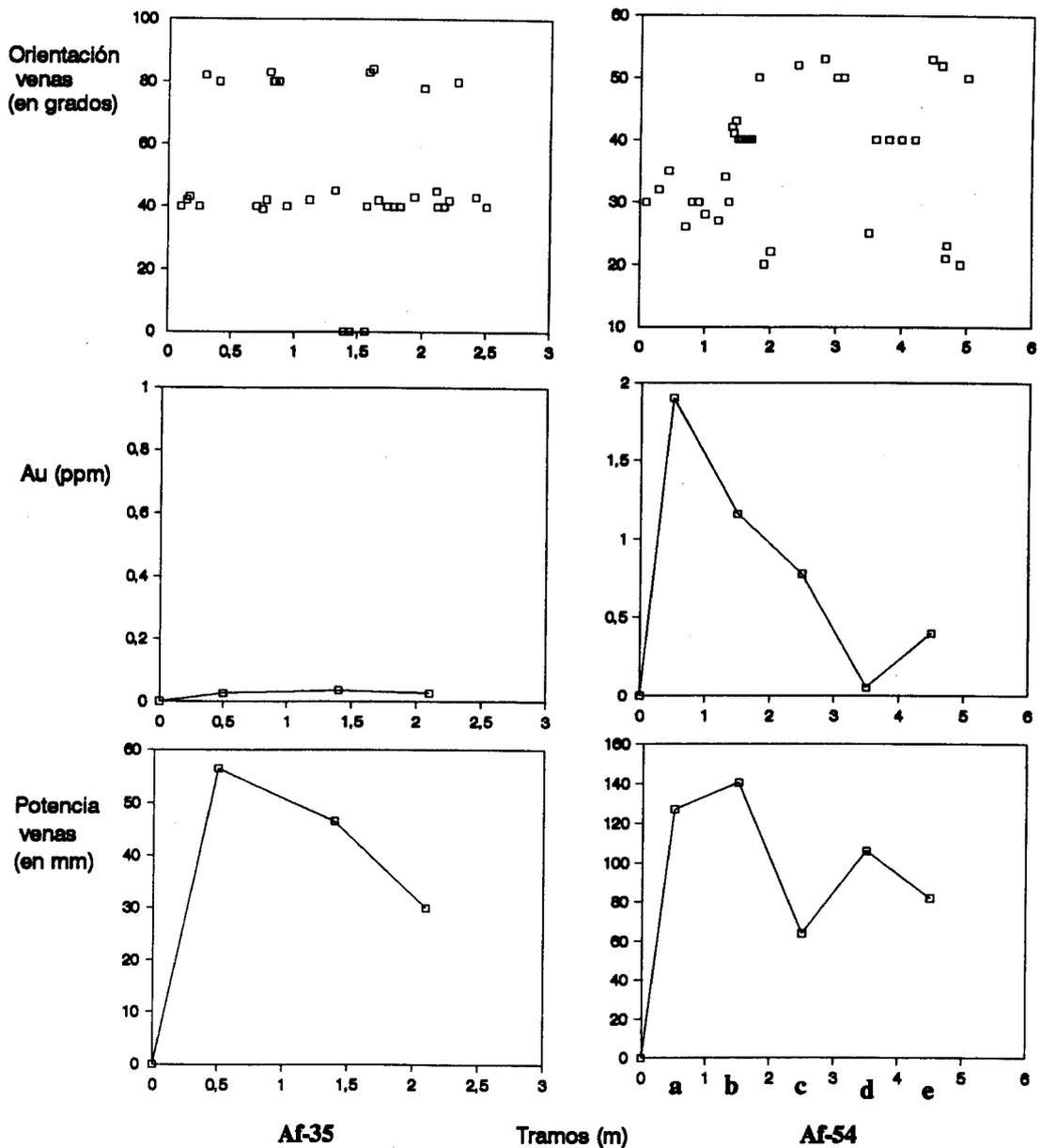
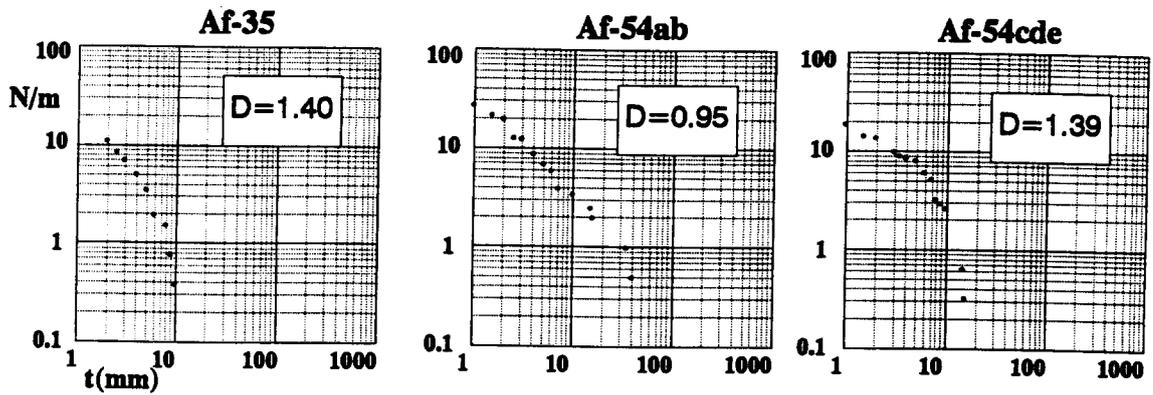


Fig.9.5a.- Análisis de venas en afloramientos (Casa de la Niña, La Codosera)

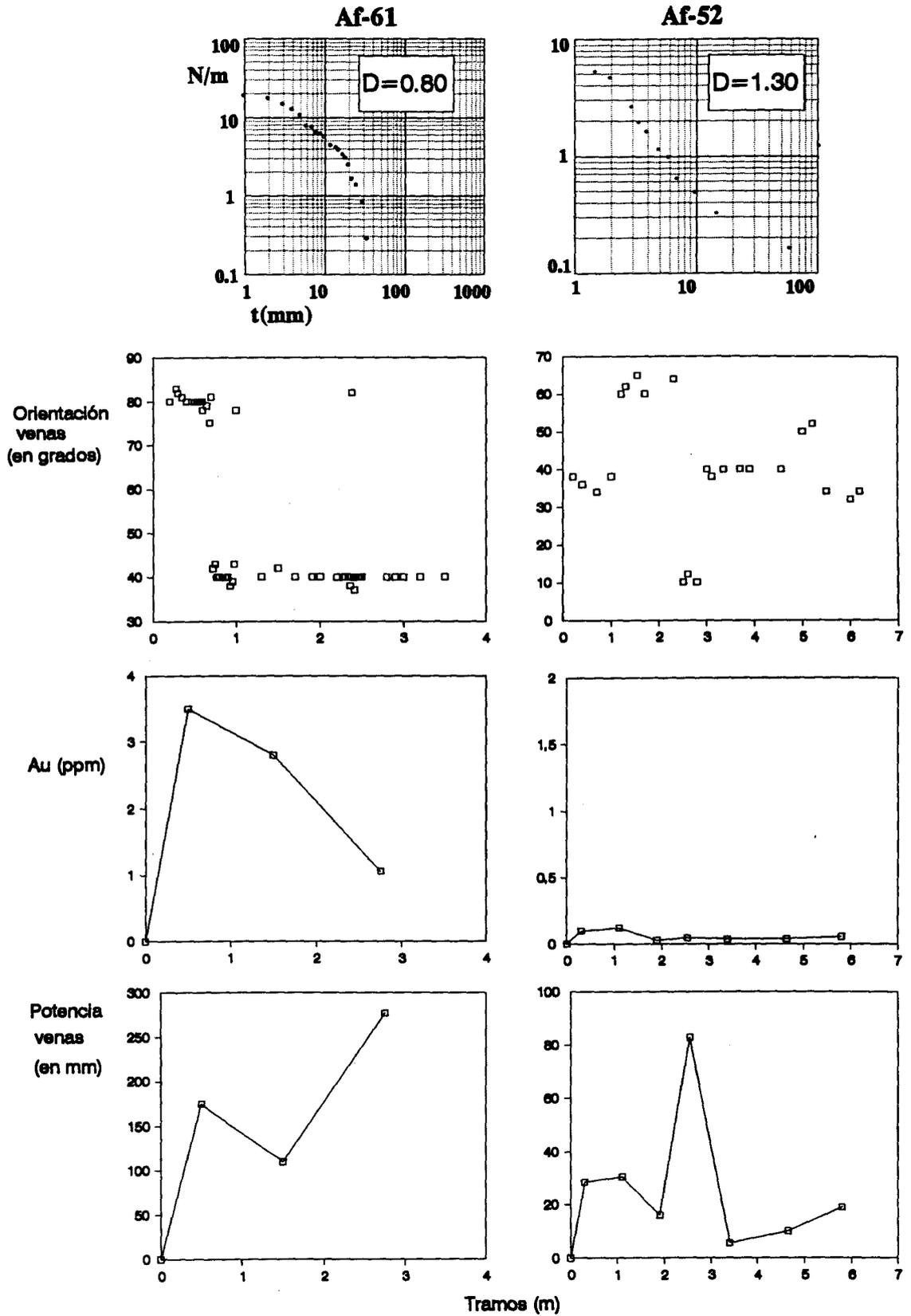


Fig.9.5b.- Análisis de venas en afloramientos (Casa de la Niña, La Codosera)

9.4.- Espaciado y Dimensión fractal

De forma complementaria al estudio de las potencias de las venas en las áreas seleccionadas, se ha llevado a cabo, donde el estado de conservación de los afloramientos lo ha permitido, un estudio del espaciado intervenas. Se entiende por espaciado la distancia entre venas que es perpendicular a las mismas, dentro de un mismo conjunto filoniano.

En estudios de sistemas de diaclasas, se ha observado que las distribuciones de espaciado pueden ser log-normales (Narr & Suppe, 1991) o exponenciales negativas (Priest & Hudson 1976, Villaescusa & Brown 1990), siendo mas raras las distribuciones normales (Huang & Angelier, 1989).

El tipo de distribución del espaciado suministra información sobre el grado de evolución (nivel de saturación) del conjunto de fracturas correspondiente (Rives et al., 1992). En un primer estadio de evolución se desarrolla un escaso número de fracturas, generalmente distribuídas al azar y sin conexión. Por lo tanto, la distribución del espaciado interfracturas en esta etapa es exponencial negativa. A medida que va evolucionando dicho sistema de fracturas, es decir en un estadio intermedio, se va generando un mayor número de fracturas, las cuales se van conectando entre sí, y la distribución del espaciado pasa a ser log-normal. Finalmente, en sistemas ya muy evolucionados, la densidad de fracturas es muy alta y la distribución es normal.

Por consiguiente, en un sistema de fracturas la distribución del espaciado evoluciona desde exponencial a log-normal y normal, según se va desarrollando dicho sistema. Esta evolución sugiere que cuando un sistema de fracturas empieza a desarrollarse, el espaciado interfracturas está gobernado por procesos al azar. A medida que el sistema adquiere un mayor grado de madurez, se incrementa la densidad de fracturas y disminuye el espaciado interfracturas hasta que al final, las últimas fracturas no tienen apenas espacio (grados de libertad) para desarrollarse y se llega a una distribución casi normal que corresponde a un espaciado constante muy próximo (casi cerrado).

Otro indicador del grado de evolución de un sistema de fracturas es la evolución de la relación **Moda/Media** (de 0 a 1) según aumenta la densidad de fracturas (Rives et al., op.cit.).

En la fase de toma de datos en campo, no sólo se midieron las potencias de las venas, sino también los espaciados intervenas, y los datos de espaciado en el área de La Codosera sugieren que se trata de sistemas de fracturación bastante evolucionados, con distribuciones de espaciados algo particulares dentro de las exponenciales negativas (entre Poisson y log-normales). Esto sucede cuando los grupos de venas se distribuyen casi al azar en una zona, pero dentro de los grupos, familias individuales de venas siguen distribuciones log-normales (Fig.9.6).

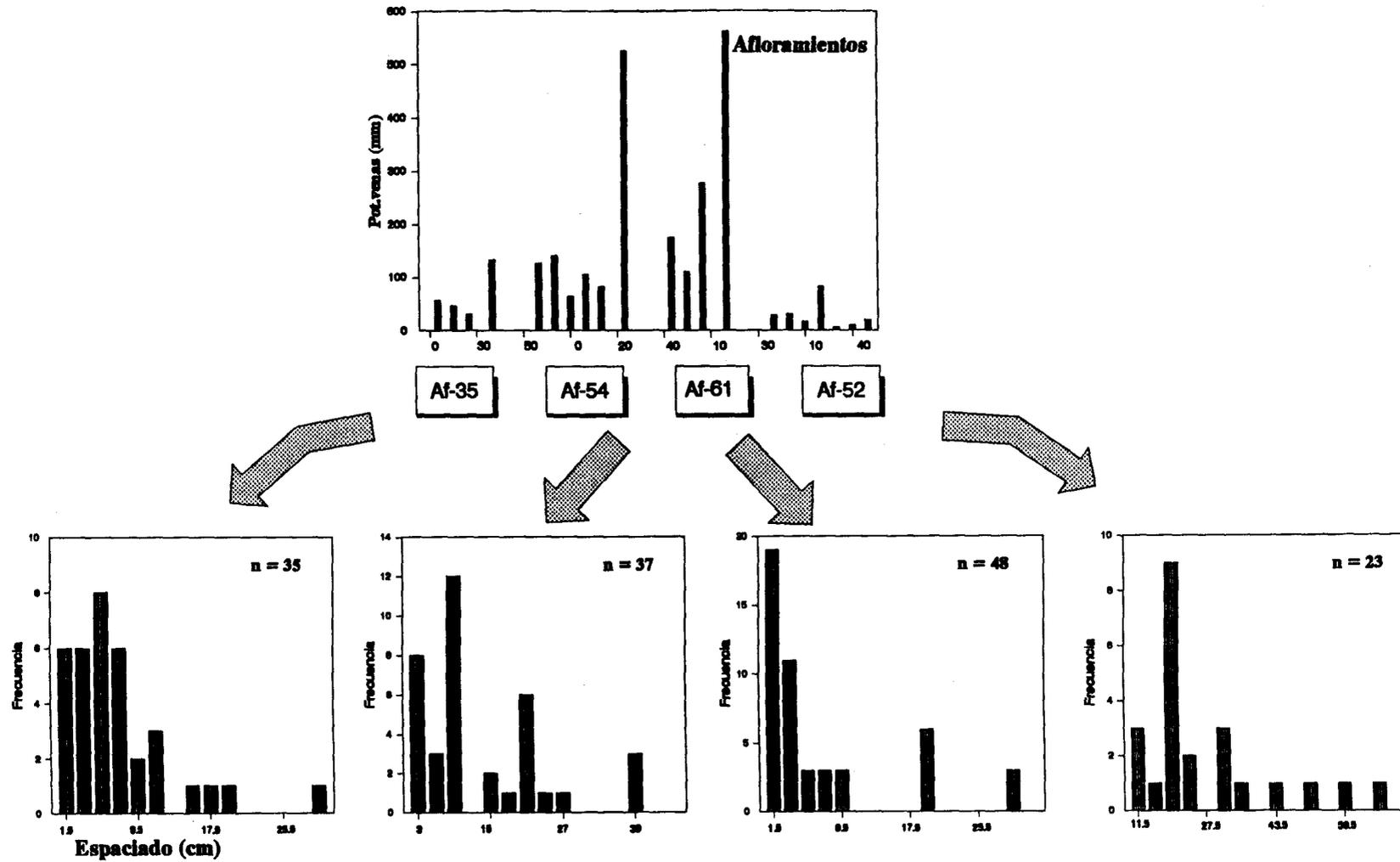


Fig.9.6.- Distribución de potencias de venas e histogramas de espaciado Afloramientos (C^a de La Niña, La Codosera)

Igualmente, las relaciones M_s/X_s en afloramientos y calicatas (Tabla III) corroboran un elevado grado de saturación o madurez de los sistemas de fracturas que han aprovechado los fluidos mineralizadores auríferos para dar lugar a los diferentes grupos de venas.

Finalmente, en base a todo lo anteriormente expuesto, en general se observa que hay una relación entre el contenido metálico y la mayor densidad y grado de apertura de las venas. Ahora bien, no todos los tramos o intervalos con alta densidad de venas, o con un importante grado de apertura contienen mineralización. Por consiguiente, la primera conclusión que se deduce es que: **alta densidad de venas parece una condición necesaria, pero no suficiente para que exista una concentración de interés económico.**

Otra conclusión inmediata es que **los fluidos mineralizadores que van a dar lugar a las mineralizaciones, utilizan preferentemente direcciones de fractura específicas, que pueden considerarse como direcciones metalogénicas preferentes, en sistemas de fracturas bastante evolucionados.**

Ahora surgen las siguientes cuestiones: **¿Dentro de aquellos intervalos o tramos con alta densidad de venas pero sin mineralización, es posible identificar algún hecho que los diferencie de los que están mineralizados?, ¿La Dimensión fractal, como medida de la irregularidad y organización interna de cada conjunto de venas, puede contribuir a esta discriminación?.** Esto es precisamente lo que a continuación vamos a tratar de demostrar.

9.5.- Dimensión fractal (D) y mineralización de oro

La dimensión fractal (D) se ha obtenido a partir de la medida directa de los espesores de todas las venas intersectadas en los intervalos definidos, bien en testigos de sondeos, o en líneas transversales en calicatas y afloramientos superficiales. La pendiente de la curva de ajuste en los diagramas $\log N$ - $\log t$ proporciona directamente la D (Figs.9.3, 9.4 y 9.5).

Otra forma de obtener la dimensión fractal (D) ha sido mediante el método de "distribución de espaciado" (spacing distribution), el cual ha sido utilizado en calicatas y afloramientos. En este método se miden las distancias entre los centros geométricos de todas las venas intersectadas en una línea de referencia, y que están comprendidas en el intervalo considerado. Se utilizan diagramas bilogarítmicos $\log N_{(s)}$ versus $\log S$, siendo $N_{(s)}$ la frecuencia acumulada del número de espacios intervenas y S el espaciado intervenas. En estos diagramas, y como sucedía en el caso anterior, la pendiente de la curva de ajuste es la dimensión fractal ($m=D$). Este método, como se ha visto anteriormente, tiene la ventaja de que como se obtienen medidas de espaciado como complemento de los espesores de las venas, se puede tener idea del grado de evolución de los sistemas de fracturas que aprovechan los fluidos mineralizadores para dar lugar a los campos filonianos.

Otros métodos, como el de Cantor o el de "Contajes por cajas" (Box counting), para la obtención de la Dimensión fractal, han sido utilizados esporádicamente para contrastar algunos resultados, pero su aplicación ha sido muy restringida debido a que la toma de datos lleva mucho tiempo. Este último se ha aplicado en aquellas zonas donde resulta difícil utilizar los anteriores, concretamente cuando hay una red de venillas irregulares.

Las D, obtenidas en los diagramas $\log N - \log t$, son parámetros específicos de cada sistema filoniano. Estos números, dentro de un rango, cuantifican el grado de irregularidad o fragmentación de cada grupo de venas considerado, y proporcionan unos valores que dan idea del grado de ordenamiento interno de cada sistema. Dichos números varían, no solo en función de parámetros lineales (como la potencia), sino lo que es más importante, parece que varían también dependiendo del contenido metálico de cada uno. Por consiguiente, pueden ser claves para la discriminación entre sistemas filonianos fértiles y estériles.

La dimensión fractal (D) de los sistemas filonianos con mas alto contenido en oro es $D < 1$, mientras que en aquellos conjuntos filonianos que tienen menores contenidos la $D > 1$. A partir de datos de espesores de venas en testigos de sondeo, la D obtenida oscila entre 0.5 y 1 en los sistemas auríferos, frente a D que varía entre 1.2 y 1.38 en los mas estériles. Valores semejantes de D se han obtenido en afloramientos, pues D oscila entre 0.8 y 0.95 en los tramos con venas que tienen mayor contenido en oro, frente a D que oscila entre 1.28 y 1.4 en los mas pobres (Figs. 9.3, 9.4 y 9.5a/b).

Esta tendencia, aunque menos definida, tambien se observa en los datos obtenidos a partir de las calicatas, en donde la dimensión fractal D tiene valores próximos a 0.6 en las calicatas que han intersectado venas mas ricas en mineralización de oro.

Por consiguiente, aunque cuantitativamente los valores de D obtenidos pueden variar algo localmente, dependiendo del muestreo y de los intervalos de acotación elegidos, lo que se observa es que **mayor contenido en oro se correlaciona con menor dimensión fractal (D)**, lo cual se puede generalizar en todo el área del Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera.

	VENAS 30 N	VENAS 60 N	VEN.PARALELA S
\bar{X}	152.7	225.5	91.8
σ_r	109	239.4	54.9
Σ_r	1222	1804	735

TABLA II.- Número de venas medidas en 8 sondeos de La Codosera.

Afloramientos C^a de La Niña (La Codosera)

Afloram.	Af-35	Af-54	Af-61	Af-52
<i>Moda(M_j)</i>	5cm	10cm	2cm	20cm
<i>Media(\bar{X}_j)</i>	7.14cm	13.5cm	7.3cm	26.9cm
<i>M_j\bar{X}_j</i>	0.7	0.74	0.27	0.74
Nº datos	n=35	n=37	n=48	n=23

Calicatas Monteviejo (La Codosera)

Calicatas	C-89	C-74	C-24	C-70
<i>Moda(M_j)</i>	100cm	200cm	100cm	150cm
<i>Media(\bar{X}_j)</i>	163.4cm	233.3cm	104.2cm	181.8cm
<i>M_j\bar{X}_j</i>	0.6	0.8	0.9	0.8
Nº datos	n=40	n=15	n=24	n=22

TABLA III.- Relaciones de espaciado en La Codosera

CAPITULO 10

CAPITULO 10.- MODELIZACION DE LAS MINERALIZACIONES DE ORO DEL AREA DE LA CODOSERA.

En este capítulo se presenta un intento de modelización de las mineralizaciones de oro del área de La Codosera. Este ensayo resume una serie de observaciones a varias escalas. Se han simplificado las condiciones requeridas, y se ha procurado enfocar con un sentido de aplicación, para que puede ser útil de cara a la exploración de mineralizaciones similares. Los tipos de modelización se sintetizan en las siguientes cuatro categorías:

1) Modelización a escala regional, de Distrito (macroescala). En esta modelización, se contempla el conjunto de mineralizaciones como concentraciones auríferas relacionadas con una zona de cizalla a escala regional; la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba.

2) Modelización a escala local, de yacimiento (mesoescala), es decir de las estructuras que son susceptibles de albergar una determinada concentración mineral. Esta modelización se ha realizado en base a las características geométricas y estructurales de las áreas mineralizadas, y tiene una componente de predicción aplicable a la búsqueda de zonas con estructuras similares.

3) Modelización metalogénico-estructural a escala regional y local. En base a los datos estructurales y metalogénicos, así como a las aportaciones del análisis fractal, se esbozan posibles mecanismos de formación y génesis de las mineralizaciones de La Codosera, a escala regional y local, que se ajustan bastante bien con los modelos de percolación de fluidos.

4) Modelización numérica de contenidos minerales en estructuras favorables a escala local. En base a los ensayos de correlaciones de sondeos llevados a cabo en las áreas favorables de Monteviejo ("Bandas" Oeste, Norte y Sur) y en la zona de la Casa de La Niña-Barrancones, se ha realizado una modelización numérica (3-D) de contenidos de oro, utilizando las intersecciones mineralizadas de los sondeos. Finalmente, se presentan unos modelos interpretativos, idealizados, tratando de correlacionar los modelos numéricos de contenidos con las estructuras geológicas en las que se encuentran las concentraciones minerales.

10.- MODELIZACION DE LAS MINERALIZACIONES DE ORO DE LA CODOSERA

La modelización de un determinado grupo de mineralizaciones es algo que puede ser extremadamente complejo y comprometido, puede abarcar todas las escalas, y necesita del apoyo de muchas disciplinas. Pero para que un modelo sea válido debe reunir cuatro condiciones fundamentales: en primer lugar, no tiene por qué ser único. En segundo lugar, tiene que ser lo más objetivo posible, que su validez pueda ser comprobada y que reúna el mayor número de observaciones que cumplan las condiciones requeridas. En tercer lugar, tiene que tener un grado de aplicabilidad (predicción) para que pueda ser utilizado (en este caso, aplicado a la exploración de mineralizaciones similares) y por último, debe ser abierto, para que de esta forma pueda completarse según aumenta el grado de conocimientos.

El intento de modelización de las mineralizaciones del área de La Codosera resume una serie de observaciones a varias escalas. Se han simplificado las condiciones requeridas, y se ha procurado enfocar con un sentido de aplicación, para que puede ser útil de cara a la exploración de mineralizaciones similares. Los tipos de modelización se sintetizan en las siguientes cuatro categorías:

1) Modelización a escala regional, de Distrito (macroescala). En esta modelización se contempla el conjunto de mineralizaciones que constituye el Distrito de La Codosera, como concentraciones auríferas relacionadas con una zona de cizalla a escala regional; la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba.

2) Modelización a escala local, de yacimiento (mesoescala), es decir de las estructuras que son susceptibles de albergar una determinada concentración. Esta modelización se ha realizado en base a las características geométricas y estructurales de las áreas mineralizadas, atendiendo a la estructura en la que aparece la concentración, a la disposición de la mineralización en la misma y a las rocas encajantes. Así mismo, tiene una componente de predicción aplicable a la búsqueda de zonas con estructuras similares.

3) Modelización metalogénico-estructural a escala regional y local: Modelo de Percolación.

En base a los datos estructurales y metalogénicos (composición de los fluidos mineralizadores, etc.), así como a las aportaciones del análisis fractal, se esbozan posibles mecanismos de formación y génesis de las mineralizaciones de oro de La Codosera, a escala regional y local, que se ajustan bastante bien con los modelos de percolación de fluidos.

4) Modelización numérica de contenidos minerales en estructuras favorables a escala local.

En base a los ensayos de correlaciones de sondeos llevados a cabo en las áreas favorables de Monteviejo ("Bandas" Oeste, Norte y Sur) y en la zona de la Casa de La Niña-Barrancones, se ha realizado una modelización numérica (3-D) de contenidos de oro, utilizando las intersecciones mineralizadas de cada sondeo. El método empleado ha sido el algoritmo matemático del Inverso de la Distancia al Cuadrado de cada punto, mediante la creación de ficheros XYZG en la opción Rock-Solid del Paquete Rockware. Finalmente, se presentan unos modelos interpretativos, idealizados, tratando de correlacionar estos modelos de contenidos con las estructuras geológicas que albergan las mineralizaciones.

10.1.- Modelización a escala regional.

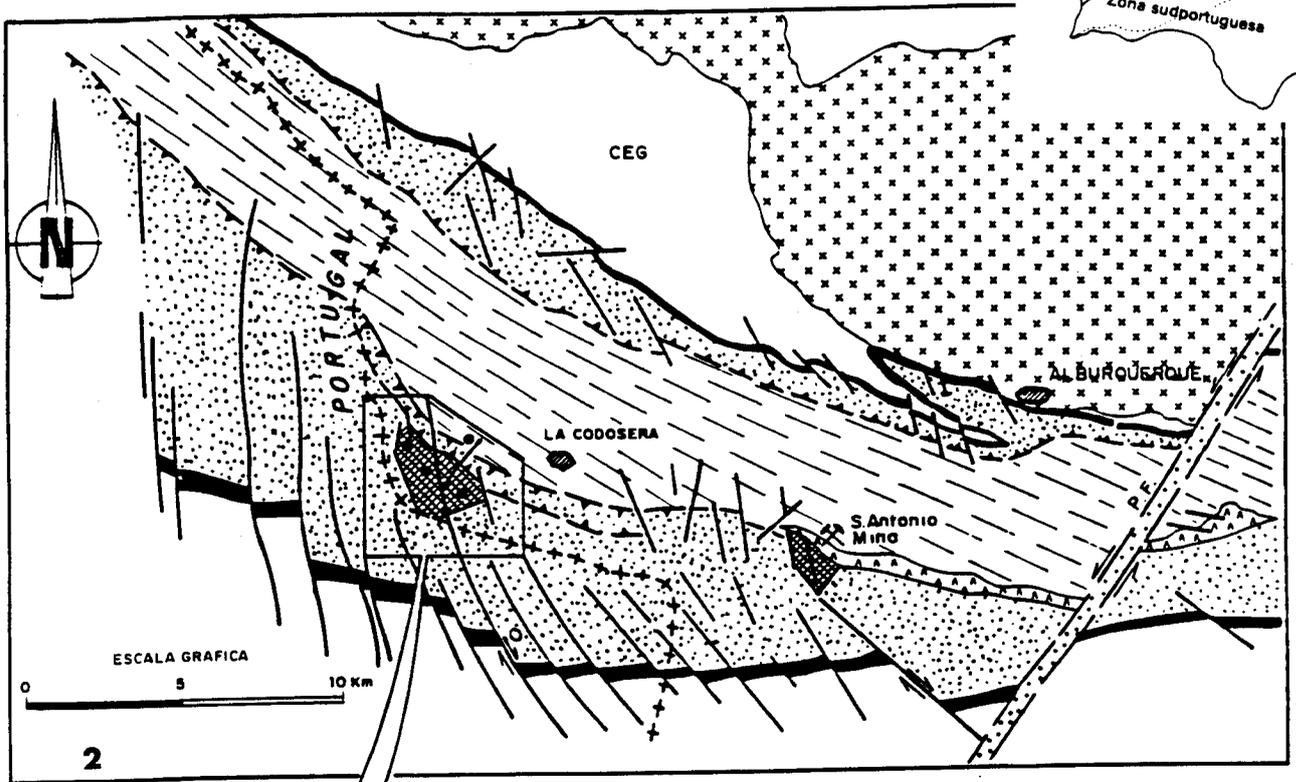
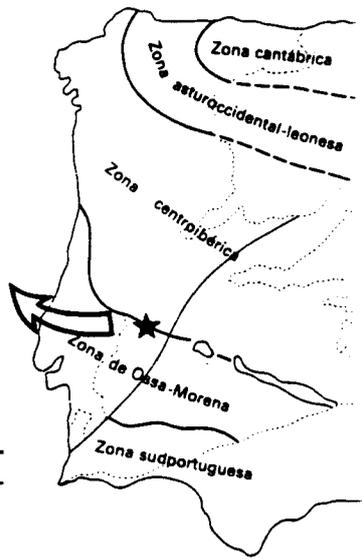
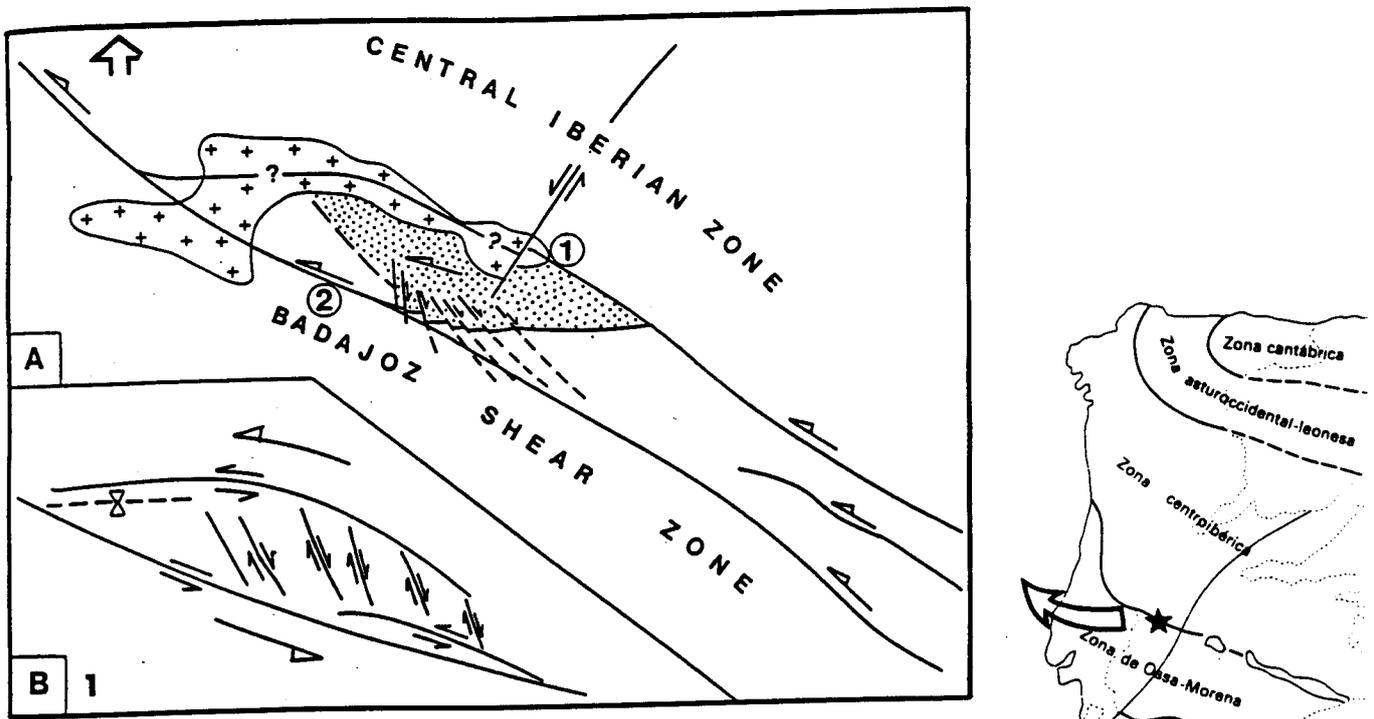
El conjunto de indicios auríferos del área de La Codosera es un ejemplo de mineralizaciones de oro relacionadas con una zona de cizalla; La Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba. Por consiguiente, las implicaciones a escala regional, de los mecanismos de cizallamiento de dicha Zona de Cizalla, son de gran importancia para las mineralizaciones de oro. La propia Zona de Cizalla no es un ámbito muy favorable para la localización de concentraciones, pero si lo son alguna de las estructuras secundarias con ella conectadas. Por esta razón la **conectividad** es un factor trascendente para la formación de depósitos minerales.

El que la zona de La Codosera se haya visto afectada por mecanismos de cizallamiento dúctil hercínico fué puesto de manifiesto por Sanderson et al.,(1991) y ha quedado suficientemente contrastado en esta memoria (Capítulo 5). Además, el modelo de tectónica en dirección (strike-slip) del área muestra analogías con el sistema de la Falla de San Andrés, en el Sector de San Gabriel Mtns, pero en sentido contrario (Fig. 10.1/1), lo cual también fué establecido por los mencionados autores.

Pueden surgir una serie de cuestiones, a las que intentar responder, ayudará a entender el modelo estructural a escala regional. **¿Cómo se forman las fallas antitéticas y por qué rotan (Fig.10.1/2) ?**

Las fallas antitéticas se generan cuando la rama norte de la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba queda sellada, probablemente debido a la intrusión del Batolito de Alburquerque que pudo aprovechar una zona de extensión dentro de dicha rama. (Falla 1 de la Fig. 10.1/1). Al sellarse esta rama, el movimiento fué transferido a la rama sur (Falla 2 de la Fig.10.1/1) y la transferencia de extensión hacia la falla 2 produjo la configuración en "dominó" de dichas fallas (Fig.5.19, capítulo 5). Como las fallas antitéticas, de sentido dextrógiro, que son accidentes tardihercínicos, rotan desde N-S a NW-SE, dicho sentido de rotación prueba que los efectos de cizallamiento sinistral que afectaron a la zona fueron prolongados en el tiempo (ver capítulo 5).

Partiendo de la base de que el modelo estructural, de forma simplificada, es válido a escala regional, surge la siguiente cuestión: **¿Qué papel pueden tener estas fallas antitéticas desde el punto de vista de las concentraciones minerales?**



Area con mineralizaciones de oro del Oeste de La Codosera

- Devónico (pizarras y cuarcitas)
- Rocas básicas (diabasas)
- Ordovícico-Silúrico (pizarras y cuarcitas)
- Cuarcita Armórica (Arenig)
- CEG
- Batolito de Albuquerque
- Falla de Plasencia
- Cabalgamiento

Fig.10.1/1- Modelo esquemático de la formación de fallas antitéticas del Sur de La Codosera, según Sanderson et al., 1991. Comparación de la estructura de La Codosera con el área de San Gabriel Mtns (Dibblee, 1977) pero rotada para que tenga un sentido sinistral.

Fig.10.1/2- Detalle de la geometría en "dominó" de las fallas antitéticas del Sur de La Codosera y situación de las mineralizaciones de oro en relación con ellas.

El papel de estas fallas es actuar como conductos o vías de canalización, y a veces deposición de los fluidos mineralizadores.

Por consiguiente, desde un punto de vista metalogénico (Gumiel en prep.) el modelo de geometría de fallas en dominó puede explicar la variación en la concentración y aparición de mineralizaciones auríferas del área Sur de La Codosera (Fig.10.2). Un importante factor cinemático en el control de los fluidos mineralizadores (Fig. 5.19/3, capítulo 5) es que los bloques rotados se adelgazan, y de esta forma es posible mantener condiciones de cizallamiento simple en los bordes de la zona. Además, los bloques rotados pueden engrosar en la vertical, para así acomodar la reducción de anchura. En un modelo de bloques rígidos de este tipo, la deformación puede originar **espacios libres o zonas de dilatación (pull-aparts)** entre bloques rotados y no rotados, o en determinadas zonas de los planos de falla, dado que sus trazas son irregulares. Estas zonas son áreas en las que, si existen condiciones físico-químicas favorables, se puede producir una determinada concentración mineral (modelización a escala local).

La **conectividad** es quizás uno de los aspectos más importantes que intervienen en la circulación de fluidos. **¿En qué consiste y qué importancia tiene desde el punto de vista de las mineralizaciones?**

La conectividad es el grado de unión o conexión de las estructuras en una masa rocosa. Se produce a todas las escalas, y tiene lugar como consecuencia de los procesos de dilatación que suelen acompañar a una determinada fase de extensión, o que se producen como consecuencia de la cinemática de determinadas estructuras (principalmente fallas y pliegues). Los procesos de dilatación son frecuentes en zonas que están afectada por mecanismos de cizallamiento dúctil o dúctil-frágil, con reactivaciones de carácter extensional. Por consiguiente, las estructuras no se presentan aisladas (aunque inicialmente así se generen), sino que, debido a procesos de dilatación, dichas estructuras se interconectan entre sí y así mismo con la Zona de Cizalla principal, la cual puede tener importancia a escala crustal y alcanzar profundidades de hasta 15-20km (Sibson, 1977)

Las estructuras tardías (fallas antitéticas) del área de La Codosera que constituyen esa geometría típica en "dominó" (bookshelf) son claves para conectar las áreas mineralizadas con la Zona de Cizalla (Figs.10.1/2 y 10.2) y se interpretan como "canales" o vías de ascenso y circulación de las soluciones mineralizadoras.

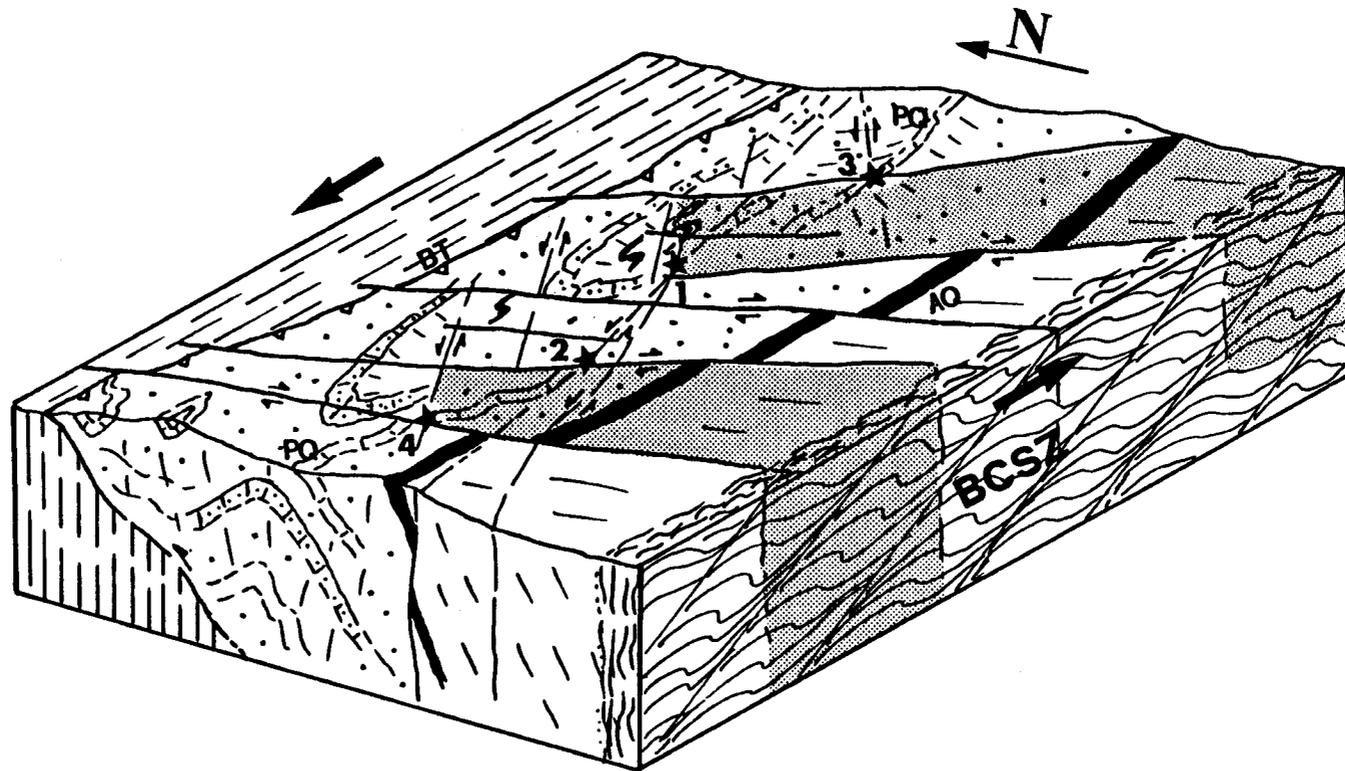


Fig.10.2.- Conectividad entre estructuras mineralizadas (fallas antitéticas y estructuras de segundo orden) con la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba.

- 1.- Area mineralizada de Monteveijo
- 2.- Area mineralizada de Los Algarbes
- 3.- Area mineralizada de la Cª de la Niña-Barrancones
- 4.- Area mineralizada de La Portilla
- BCSZ: Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba
- AQ : Cuarcita Armoricana
- PQ : Cuarcita de La Portilla
- BT : Cabalgamiento/falla en dirección de la Sª de la Breña

Fig.10.2.- Conectividad entre estructuras mineralizadas (fallas antitéticas y estructuras de segundo orden) con la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba.

10.2.- Modelización a escala local

La modelización a escala local de una determinada mineralización enlaza con lo anterior respondiendo a la siguiente cuestión: **¿Donde se puede producir favorablemente una determinada concentración mineral?**

Las soluciones mineralizadoras que circulan a través de las fallas antitéticas pueden, si las condiciones son favorables, depositar su carga metalogénica en aquellos ámbitos favorables en dichas fallas, o en estructuras de segundo orden con ellas conectadas. Estas zonas pueden ser de los siguientes tipos (Figs 10.2 y 10.3 a, b y c):

- 1) en terminaciones de dichas fallas antitéticas.
- 2) en zonas de curvaturas o bruscos cambios de orientación (aprovechando irregularidades - Fig 10.3 a -) .
- 3) en "jogs" o zonas de dilatación, donde favorablemente se produce extensión (Fig.6.6, capítulo 6).
- 4) en zonas de intersección de fallas antitéticas con otras de movimiento sintético (Fig.10.3 b).
- 5) En zonas de intersección de fallas en dirección subparalelas a la principal (aproximadamente de orientación E-W y fallas de tipo antitético o sintético.
- 6) en estructuras conectadas de tipo pliegues D2 y fallas inversas etc. (Fig.10.3.c).

Ahora surge la siguiente cuestión, que es la que da paso al modelo metalogénico-estructural que se posee para explicar las mineralizaciones del área de La Codosera.

¿De qué forma se favorece la circulación de fluidos mineralizadores, para posteriormente producirse el depósito de una determinada concentración mineral?

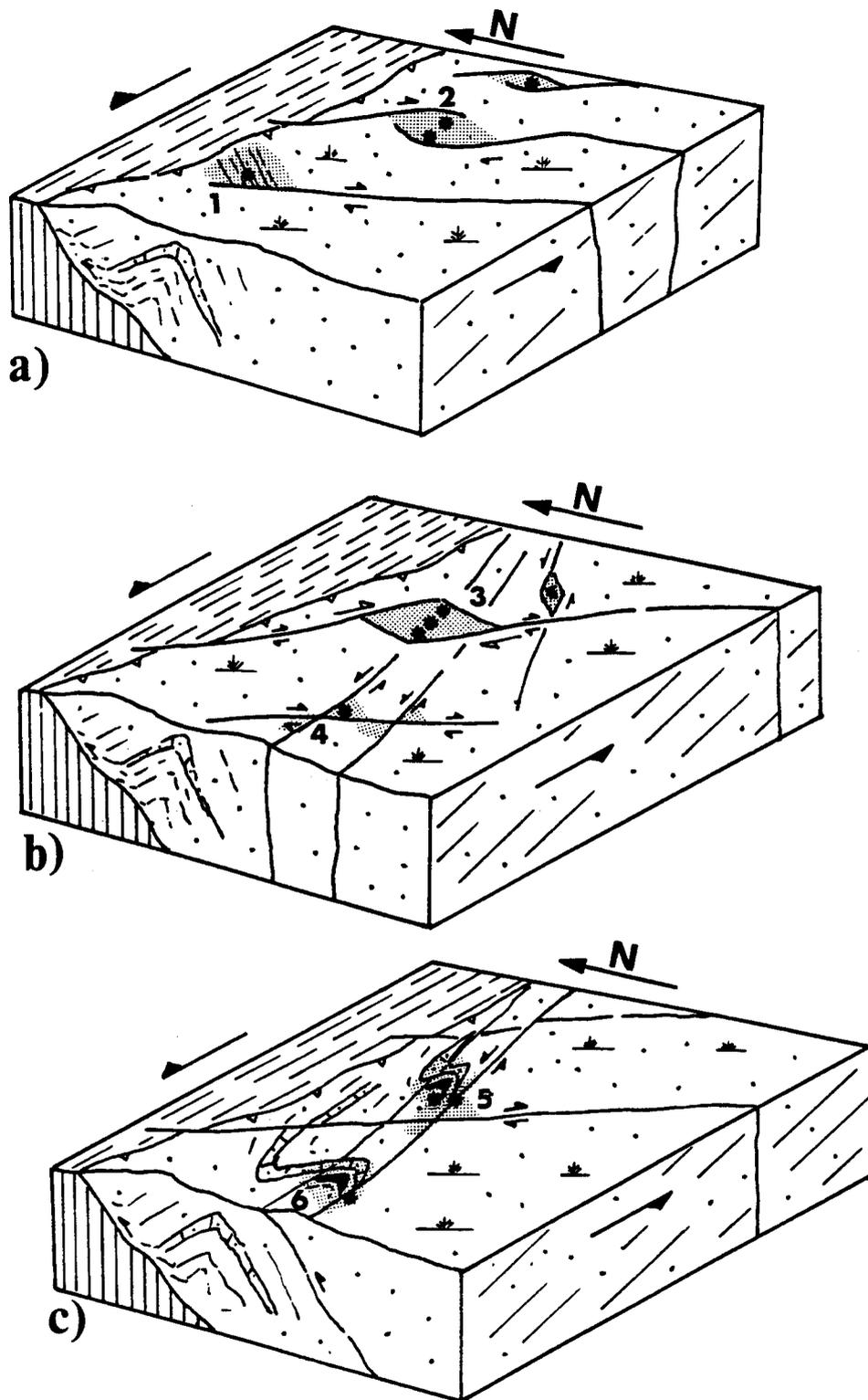


Fig.10.3.- Zonas favorables para que se produzca una concentración mineral aurífera en el área de La Codosera

- a) 1) en terminaciones de fallas antitéticas.
- 2) en zonas de curvaturas o bruscos cambios de orientación (aprovechando irregularidades) .
- b) 3) en "jogs" o zonas de dilatación, donde favorablemente se produce extensión
- 4) en zonas de intersección de fallas antitéticas con otras de movimiento sintético
- c) 5) En zonas de intersección de fallas en dirección, subparalelas a la dirección de la Cizalla Principal (aprox. E-W) y fallas de tipo antitético o sintético.
- 6) en estructuras conectadas, de tipo pliegues D2 y fallas inversas.

10.3.- Modelización metalogénico-estructural (Modelo de Percolación)

Las aportaciones del análisis fractal a la discriminación de sistemas filonianos mineralizados en oro del área de La Codosera (capítulo 9) señalan que mayores contenidos en oro se correlacionan con menor Dimensión fractal ($D < 1$), así como con mayor intensidad de veining de cuarzo. Valores de $D < 1$ caracterizan preferentemente aquellos conjuntos de venas con mayores potencias. Entonces, surge la siguiente cuestión: **¿Porqué los mayores contenidos de oro se favorecen cuando hay un incremento en proporción de las venas mas potentes?**

Modelo de Percolación de flúidos

Se asume (Sanderson, Roberts & Gumiel, in litt.) que un sistema de venas se puede formar como un conjunto de fracturas de extensión, desarrolladas a partir de microfisuras en una masa rocosa, y que el espesor de las venas es proporcional a su longitud. Las fisuras crecen y se interconectan (proceso de "linkage") para así formar un sistema o red de fracturas y venas. Inicialmente, pequeñas venas aisladas o grupos locales de venas se desarrollan sin conexión con grandes fracturas (Fig.10.4/a). En este estadio poca cantidad de flúido que derive de las rocas encajantes rellenará las venas, y estos grupos aislados de venas tienen una distribución exponencial. A medida que las venas crecen por aperturas sucesivas, se interconectan y se pueden ir desarrollando conductos, a través de los cuales los flúidos pueden circular (Fig.10.4/b y c).

Hay dos hechos importantes en este modelo tan simple para unir la potencia de las venas y la mineralización. En primer lugar, los grupos de venas con mayor espesor favorecen la deformabilidad y concentran la dilatación de la roca, pues se forman a partir de las fisuras que han sufrido mayor grado de apertura (dilatación). Estos grupos de venas facilitan a su vez el mayor drenaje de flúidos en la roca.

De la observación detallada de la forma de las curvas de distribución de los sistemas filonianos en los diagramas $\log N - \log t$ (Fig.9.3, capítulo 9), se observa que aquellos con mayores contenidos de oro se pueden obtener a partir de los que tienen menores contenidos, simplemente incrementando la dilatación de las venas mas potentes (ej., mayores de 5mm), con menor dilatación de las mas estrechas (Fig.10.4/d). Si este proceso de dilatación tiene lugar con una propagación limitada de las venas mas estrechas (ej., menores de 1mm) para formar nuevas venas (de mayor espesor y medibles), entonces las venas mas estrechas mostrarían valores inferiores de D , reflejando la transición a la dilatación, la cual está dominada por las venas más potentes del conjunto. El resultado sería un cambio, desde una simple distribución exponencial de aquellas venas con potencias menores de 10mm que tienen mayores valores de D ($D > 1$), a distribuciones más complejas (multifractales ?) con el conjunto de venas mostrando valores inferiores de D ($D < 1$, Fig 10.4/d).

Asumiendo que las venas más potentes se forman a partir de las fracturas que han sufrido mayor apertura, estas venas han favorecido el drenaje de los flúidos en la masa rocosa.

En segundo lugar, el modelo es escala-invariante (fractal), contempla el crecimiento e interconexión de fracturas que da lugar a un estadio de percolación (Stauffer, 1985) en el cual se forman infinitos grupos de venas interconectadas. Es precisamente el grado de interconexión entre las fracturas y el área fuente lo que va a permitir el acceso de los flúidos mineralizadores probablemente de origen profundo.

En el caso de La Codosera, los flúidos son típicamente "auríferos" de carácter mesotermal, con baja salinidad y ricos en CO₂, depositados a unas temperaturas comprendidas entre 250° y 400°C y presiones entre 2 y 4kbar (7-10km de profundidad, Roberts et al, 1991). La precipitación de oro en las venas tuvo lugar como consecuencia de cambios en las condiciones físico-químicas (pH, Eh, etc.), debidos a las reacciones de los flúidos con las rocas encajantes, principalmente pizarras negras, areniscas y cuarcitas. Areas favorables para que se produzcan estos cambios son las zonas de dilatación. Además de lo anterior, dos condiciones resaltan especialmente; **conectividad** entre fracturas por donde circulan los flúidos y con el área fuente, así como **suficiente flujo de flúidos** como para producir una determinada concentración.

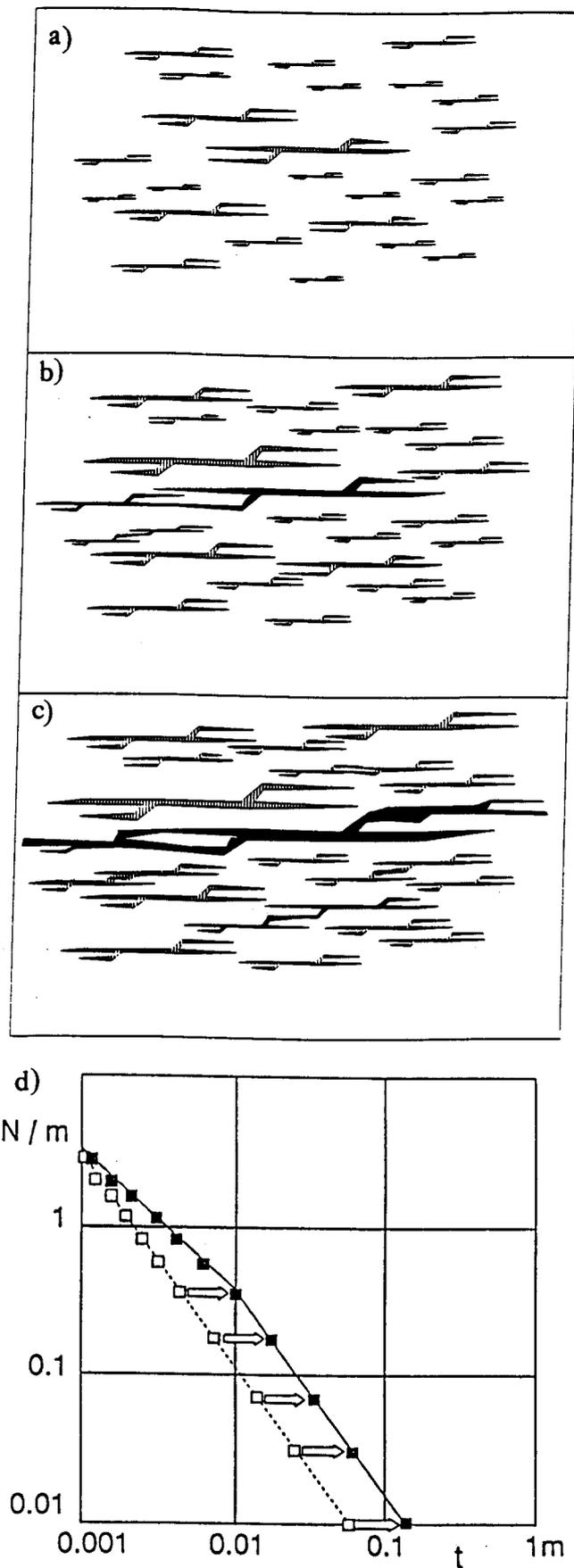


Fig.10.4.- Secuencia esquemática de la evolución de un sistema de venas, desde a) grupos aislados de venas sin conexión y con distribución exponencial de longitud y potencia. b) Aumento de la dilatación y los grupos de venas se van conectando. c) grandes estructuras (venas) conectadas. d) Evolución de la distribución de espesores de las venas, asumiendo un incremento en la dilatación de aquellas que inicialmente son más potentes (>5mm). Vease discusión en el texto. Según Sanderson, Roberts & Gumiel (Econ.Geol.in litt.).

10.4.- Modelización numérica de contenidos minerales en estructuras favorables a escala local.

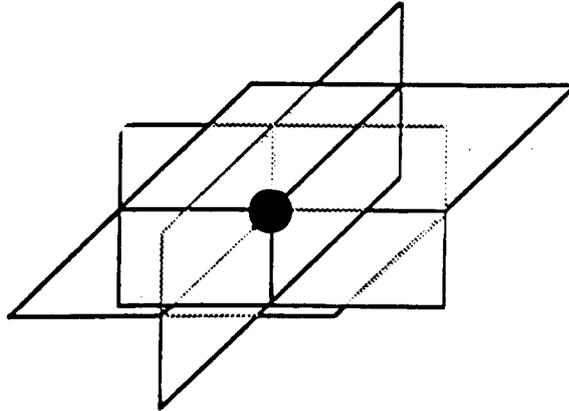
En base al conocimiento geológico adquirido, y a los contenidos de oro encontrados en superficie (calicatas) y en profundidad (sondeos), se han seleccionado las siguientes áreas como de mayor potencial interés minero: Monteviejo (sectores Oeste, Norte y Sur) y Casa de La Niña-Barrancones.

En el área de Monteviejo se han detectado varios "haces" filonianos mineralizados ("Bandas"), cuya geometría precisa es difícil de definir dada su irregularidad. Igualmente, debido a la distribución irregular de la mineralización en dichos conjuntos filonianos, no existen masas o concentraciones con suficiente continuidad. No obstante, se ha intentado realizar una modelización de contenidos de oro, que precisa de una cuidadosa extrapolación, de aquí que se halla realizado por zonas o sectores de poca extensión para poder correlacionar sondeos y extrapolar los contenidos entre los mismos por áreas de influencia. Los ensayos de correlaciones de sondeos (capítulo 8) llevados a cabo en las áreas de Monteviejo ("Bandas" Oeste, Norte y Sur) y en la zona de la Casa de La Niña-Barrancones, han facilitado esta modelización.

La modelización numérica (3-D) que aquí se presenta se puede contemplar como una representación tridimensional (Figs.10.6/9/12 y 15b) de contenidos de oro normalizados a intervalos de 2m, utilizando las intersecciones mineralizadas de cada sondeo a su correspondiente profundidad. Como los sondeos son inclinados, los contenidos de las intersecciones se han proyectado en la vertical usando cálculos trigonométricos sencillos.

Los modelos numéricos obtenidos se han representado como mapas de contornos de isocontenidos de oro, en tres dimensiones (3-D), mediante un proceso de estimación de valores de puntos regularmente espaciados, basado en los valores reales de los puntos de intersecciones distribuidos al azar. Cada celdilla tridimensional de la malla contiene 8 nodos, cada uno de los cuales viene definido por sus coordenadas X, Y, Z (profundidad) y G (valor de Au en 2m intervalo de sondeo). Por consiguiente, se han generado los correspondientes ficheros XYZG (anexo 6, Volumen II de esta memoria), mediante la introducción de datos de los diferentes sondeos estudiados, utilizando la opción Rock-Solid del Paquete Rockware. En los ficheros XYZG, X e Y son las coordenadas, Z es el valor de la cota, o profundidad real de los tramos mineralizados intersectados en cada sondeo, y G es el contenido de oro en intervalos de 2m de sondeo.

El método de extrapolación utilizado entre los diferentes valores de cada punto ha sido el algoritmo matemático del Inverso de la Distancia al Cuadrado, en el que el valor asignado a cada nodo se basa en el área de influencia de los 8 (octantes) más cercanos.



Tres planos perpendiculares pasan por cada nodo, creando 8 áreas de búsqueda e influencia (octantes). El programa localiza los valores de los puntos más cercanos en cada región u octante para el cálculo. El valor de cada punto es ponderado de acuerdo con el inverso de su distancia a cada nodo, tomando el segundo exponente (inverso de la distancia al cuadrado). Con este método se asegura el que los valores de los puntos más lejanos tengan menos influencia que los más próximos a los nodos.

Los diagramas obtenidos (tipo "alámbrico" -wireframe-) muestran los valores de G (Au/2m intervalo de sondeo) mediante contornos de isocontenidos. Se utilizan dos factores de control en la perspectiva tridimensional; el factor de sesgo u oblicuidad (skew factor), que en el caso de La Codosera se ha tomado como 0.5, valor que al ser positivo desplaza el bloque como si se mirara desde la derecha, y la exageración vertical, que en todos los casos se ha tomado como 1.

Finalmente, y para facilitar la visualización de lo que hay dentro de los bloques, se han realizado secciones o cortes transversales y longitudinales a las áreas mineralizadas, en direcciones N-S y E-W, las cuales han sido contorneadas, con un intervalo o equidistancia de $E_q=0.2\text{ppm}$ de Au en Monteviejo y $E_q=0.1\text{ppm}$ de Au en la Casa de La Niña-Barrancones, y muestran claramente la distribución de anomalías de contenidos de oro dentro de los modelos sólidos.

10.4.1.- Modelización de zonas en el área de Monteviejo. "Banda" Oeste mineralizada de Monteviejo.

En Monteviejo se han delimitado tres sectores con mineralización: "Banda" Oeste mineralizada, "Bandas" Norte y Sur. El sector Oeste de Monteviejo está comprendido entre los sondeos NG-10 el más occidental, CODO-36, CODO-27/27bis y CODO-30 el más oriental. Esta zona tiene una extensión de 135x100m y la situación exacta (delimitada por sus coordenadas X e Y) puede verse en las Figs.10.5a y 10.6. La estructura mineralizada ("Banda") está situada al Sur del Saddle-Reef (pliegue asimétrico D2) y de los sondeos verticales CODO-32 y CODO-35. En los sondeos se han localizado tramos mineralizados de interés, como por ejemplo, dos tramos mineralizados muy significativos, de 22 a 24m en el CODO-27, con 1.1gr/t, que se corresponde bien con el tramo que comprende desde 44 a 54m en el CODO-27bis, con 2.7 gr/t en 10 m. Otros intervalos de interés son los siguientes:

48.00 - 49.00 m	: 11.5 g/t Au
49.00 - 49.95 m	: 8.08 "
49.95 - 51.65 m	: 2.937 "
51.65 - 54.10 m	: 3.060 "

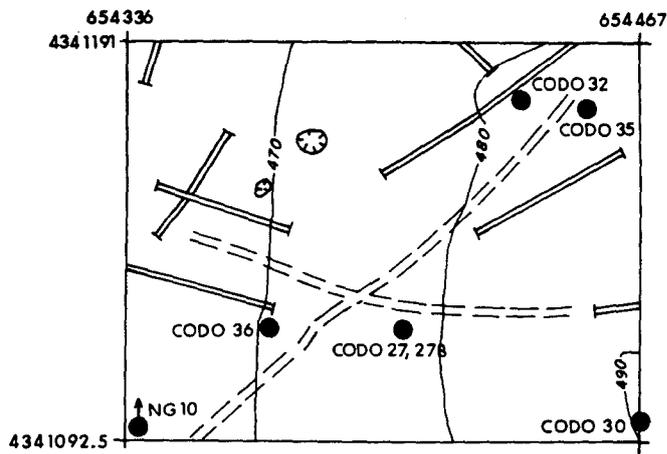
El tramo comprendido entre 40 y 48 m, con 2.8 g/t de media en el CODO-27, puede desglosarse como sigue:

40.00 - 42.00 m	: 1.08 g/t Au
42.00 - 44.00 m	: 1.45 "
44.00 - 46.00 m	: 2.74 "
46.00 - 48.00 m	: 6.11 "

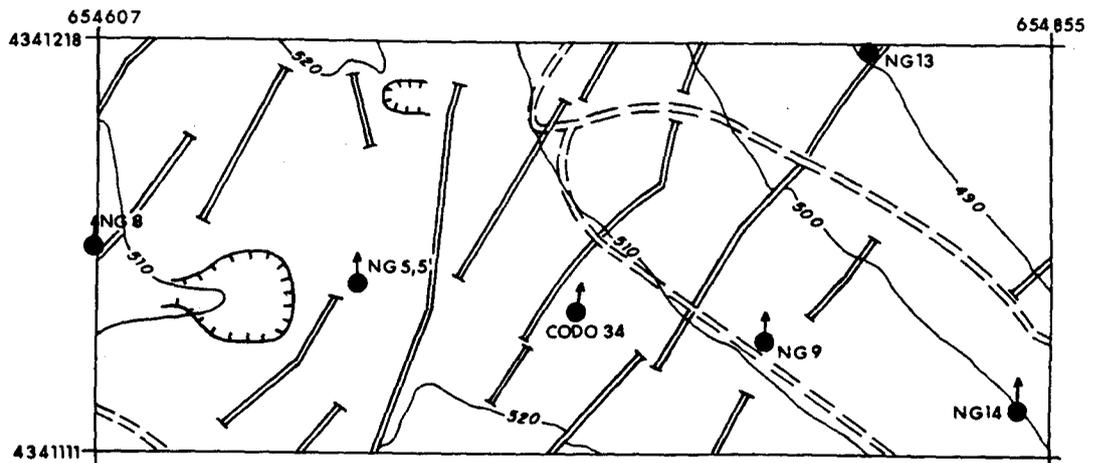
Este tramo se corresponde con el comprendido entre 71.70 y 76.30 del CODO-27bis, destacando dos intervalos; uno de 2.07 g/t de media en 1.70 m, entre 71.70 y 73.40, y otro con 4.25 g/t de media entre 74.60 y 76.30m (Anexo 3, y capítulo 8).

La modelización numérica de la zona Oeste de Monteviejo señala el posible interés minero que esta zona puede tener (Fig.10.6), y la distribución de contenidos de oro puede verse en las dos Secciones de la Fig.10.7. Se han utilizado contornos de 1.8, 2, 3 y 3.5ppm Au/2m intervalo de sondeo, y como puede observarse, hay una considerable continuidad con contenidos de 1.8 y 2ppm Au/2m. Las anomalías quedan bien patentes en las Secciones de la Fig.10.7, con una reducción del área mineralizada cuando se consideran contenidos superiores a 3.5ppm de oro en intervalos de 2m de testigo.

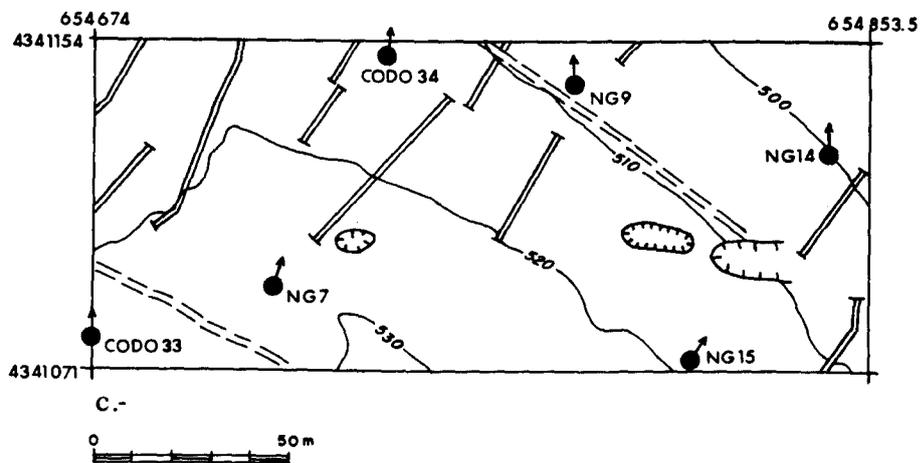
Finalmente, se presenta un intento de correlación entre estos modelos numéricos de contenidos y la estructura geológica en la que se encuentra la mineralización (Fig.10.8). La estructura mineralizada se ha representado en sombreado y las áreas con mayores contenidos en negro. La interpretación idealizada de estas áreas de enriquecimiento, es que se ha podido formar en determinadas zonas de dilatación en fallas que, además de tener un movimiento en dirección, se han reactivado en etapas de extensión, dando lugar a multiestados de relleno y deposición.



a.-



b.-



c.-

Fig.10.5 a.- Situación de sondeos en la zona Oeste de Montevejo. Modelización numérica de la "Banda mineralizada Oeste. (Montevejo, La Codosera)
 b.- Situación de sondeos en Montevejo. Modelización de la "Banda" mineralizada Norte de Montevejo (La Codosera).
 c.- Situación de sondeos en Montevejo. Modelización de la "Banda" mineralizada Sur de Montevejo (La Codosera).

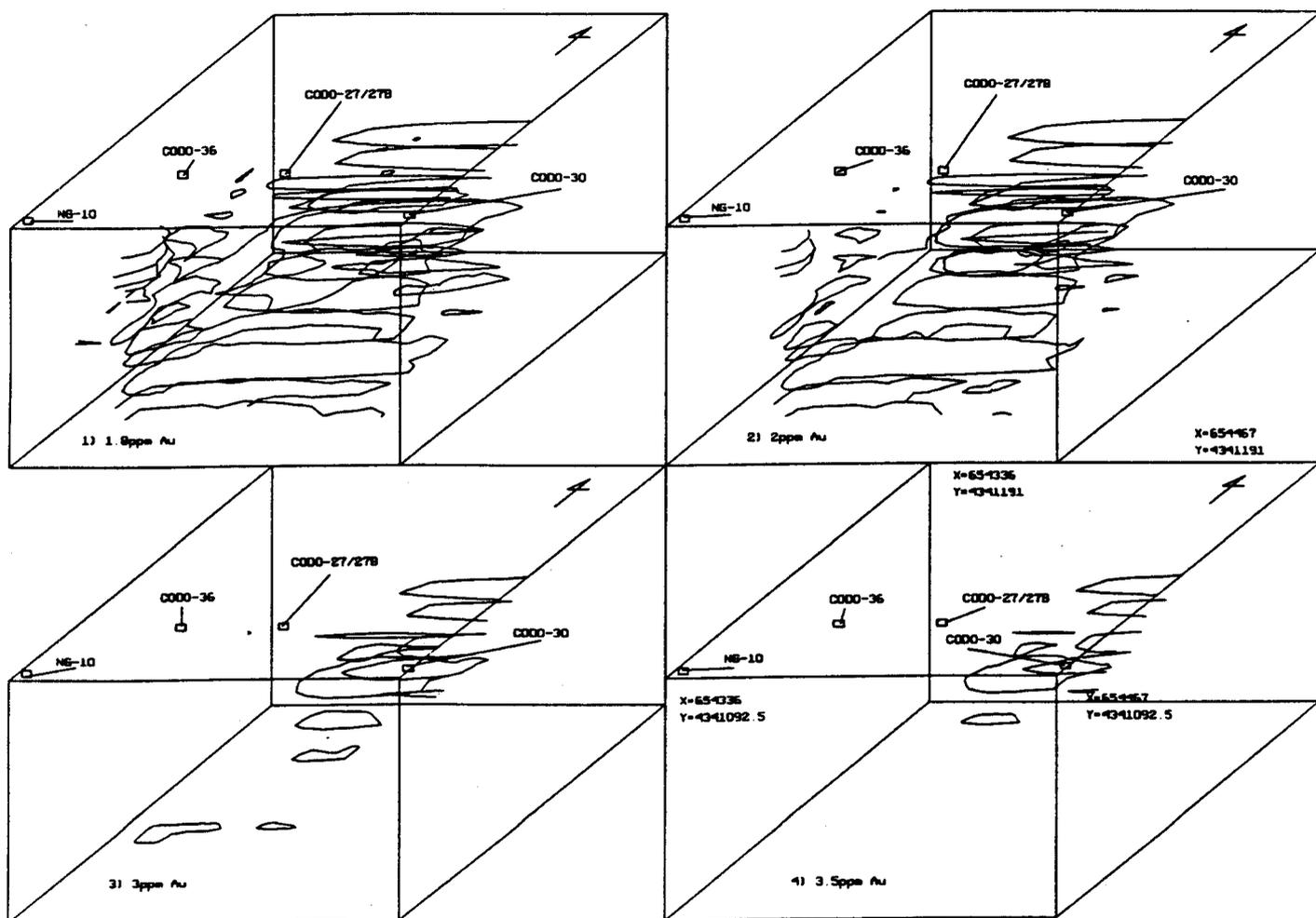


Fig.10.6.-

**Modelización de la "Banda" mineralizada Oeste de Montevicjo
 Sondeos NG-10, CODO-36, CODO-27/27bis y CODO-30
 Contornos 1.8, 2, 3 y 3.5ppm Au/2m intervalo (La Codocera)
 (Las coordenadas X,Y de los cuatro bloques son las mismas)**

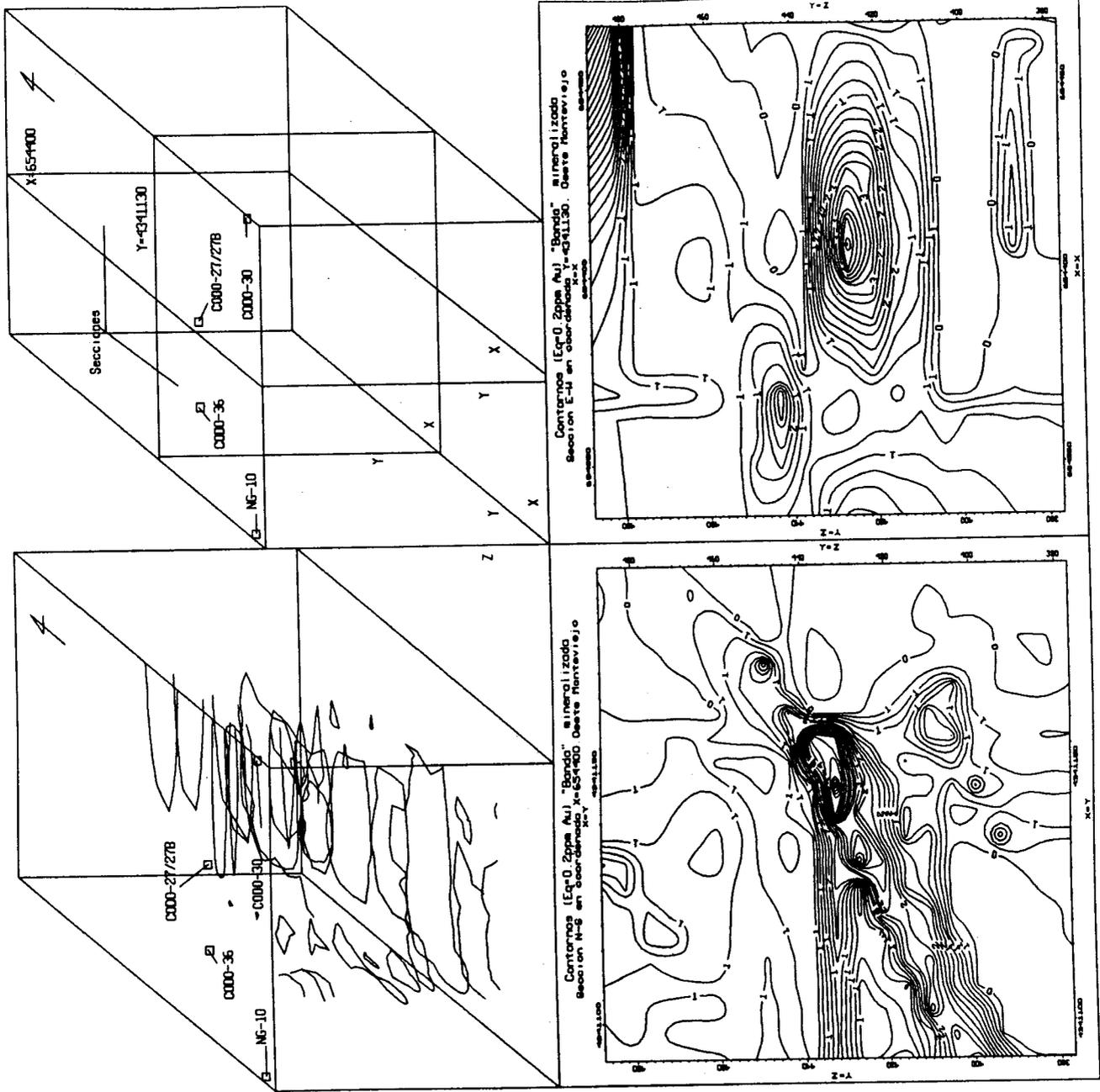


Fig.10.7.- Mapas de Contornos en Secciones en las zonas mineralizadas (Eq= 0.2ppm Au) "Banda" Oeste, Montevideo (Sondeos NG-10, CODO-36, CODO-27/27bis y CODO-30) Sección N-S en coordenada X=654400 Sección E-W en coordenada Y=4341130

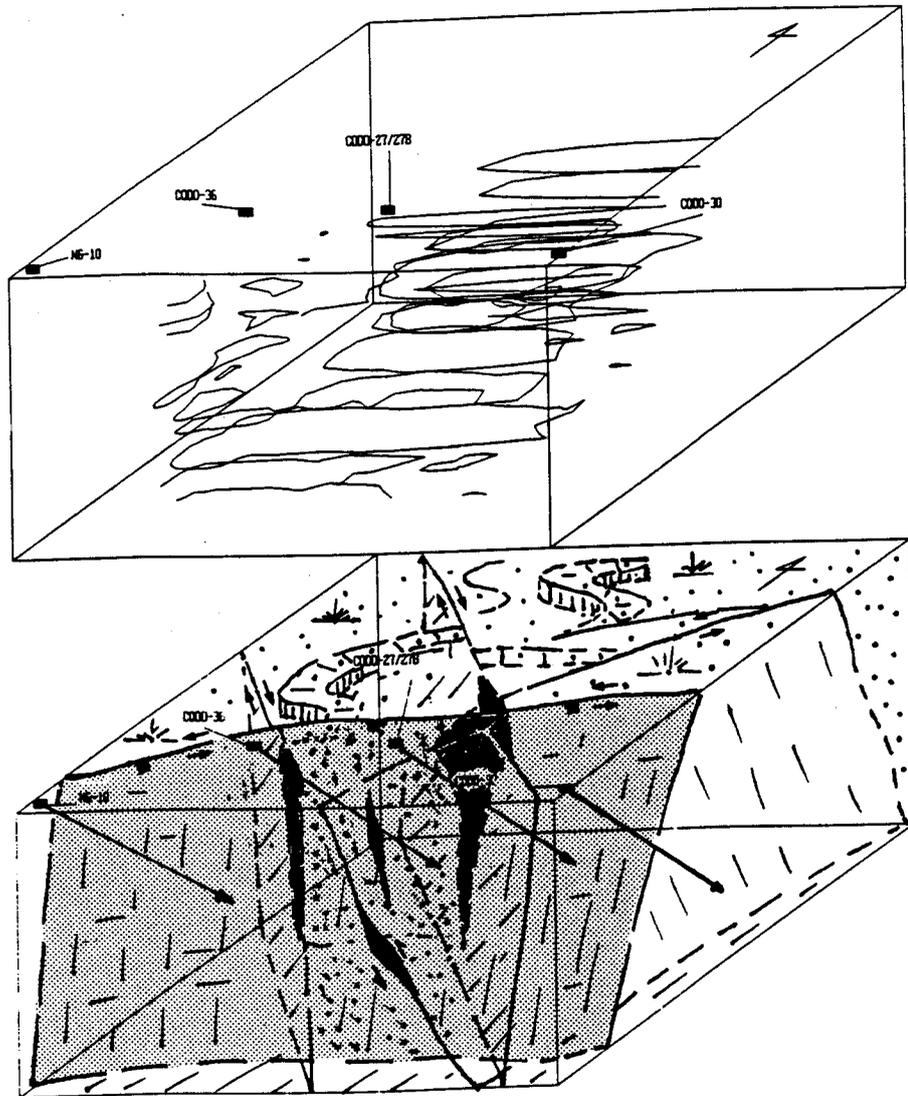


Fig.10.8.- Bloque-diagrama interpretativo de las estructuras mineralizadas y su entorno geológico. Estructura Oeste, Montevideo (Sondeos NG-10, CODO-36, CODO27/27bis y CODO-30) (Ver discusión en el texto)

10.4.2.- Modelización de la "Banda" Norte mineralizada de Monteviejo

Este sector tiene una extensión de 250x110m y está comprendido entre los sondeos NG-8 el más occidental, NG-5/5bis, CODO-34, NG-9 y NG-14 el más oriental (Fig.10.5b). La modelización numérica de contenidos de oro (Fig.10.9), aunque con contenidos inferiores a los de la zona Oeste, muestra también su posible interés y continuidad, delimitándose una zona de enriquecimiento entre los sondeos NG-5/5bis y CODO-34. Se han utilizado contornos de 1.5, 1.8, 2 y 3ppm de Au en intervalos de 2m de sondeos.

La distribución de contenidos anómalos de oro puede verse en las Secciones de la Fig.10.10 y la interpretación, en un intento de correlación entre el modelo numérico de contenidos y la estructura geológica, queda reflejada en la Fig.10.11. De igual forma, la estructura mineralizada aparece en sombreado, y el área de enriquecimiento (en negro) se interpreta como originada en una zona de dilatación de una falla WNW-ESE, con movimiento en dirección y reactivaciones en una etapa extensional.

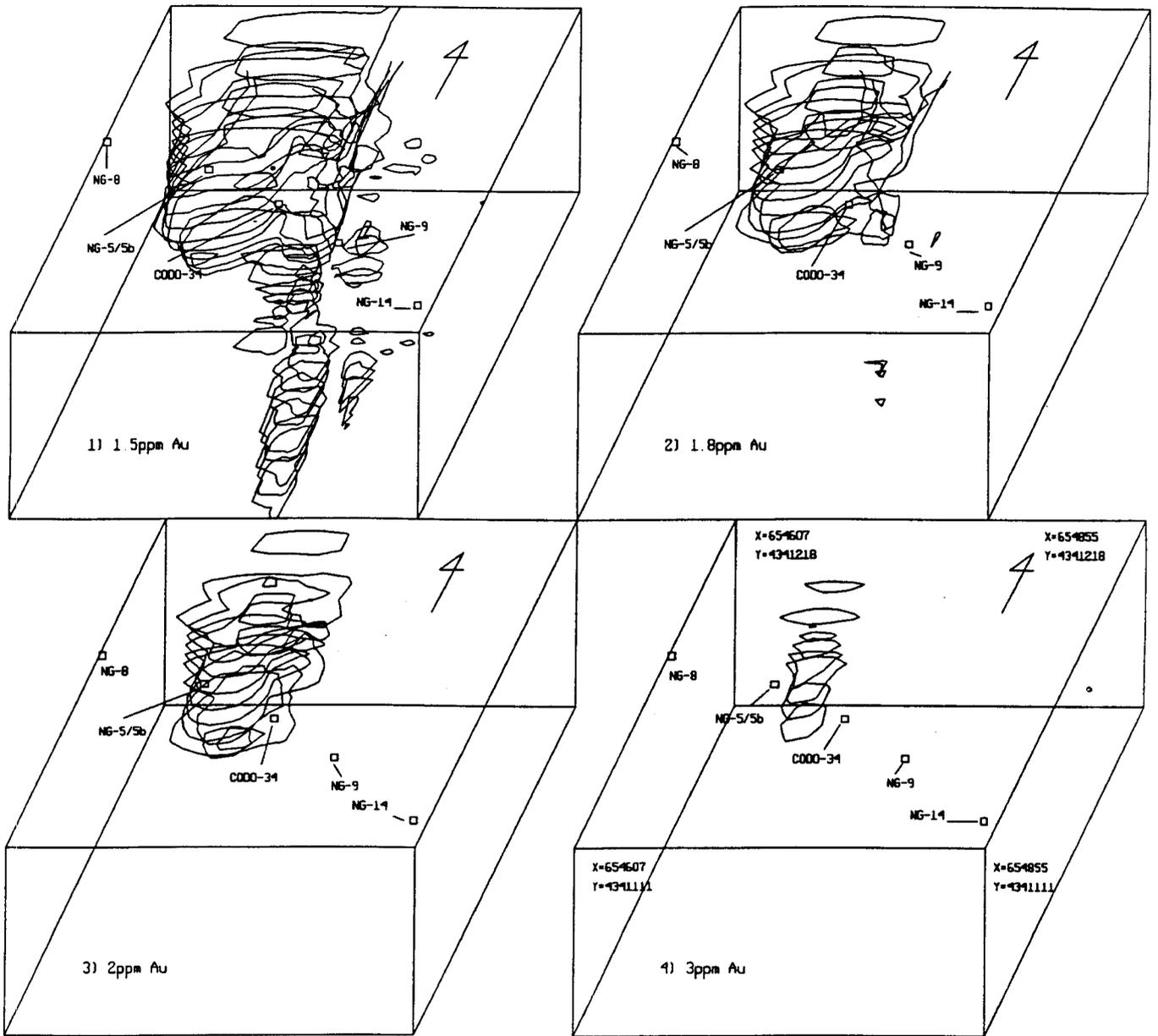


Fig.109.-

**Modelización de la "Banda" Norte mineralizada de Monteviejo
Sondeos NG-8, NG-5/5bis, CODO-34, NG-9 y NG-14
Contornos 1.5, 1.8, 2 y 3ppm Au/2m intervalo (La Codocera)
(Las coordenadas X,Y de los cuatro bloques son las mismas)**

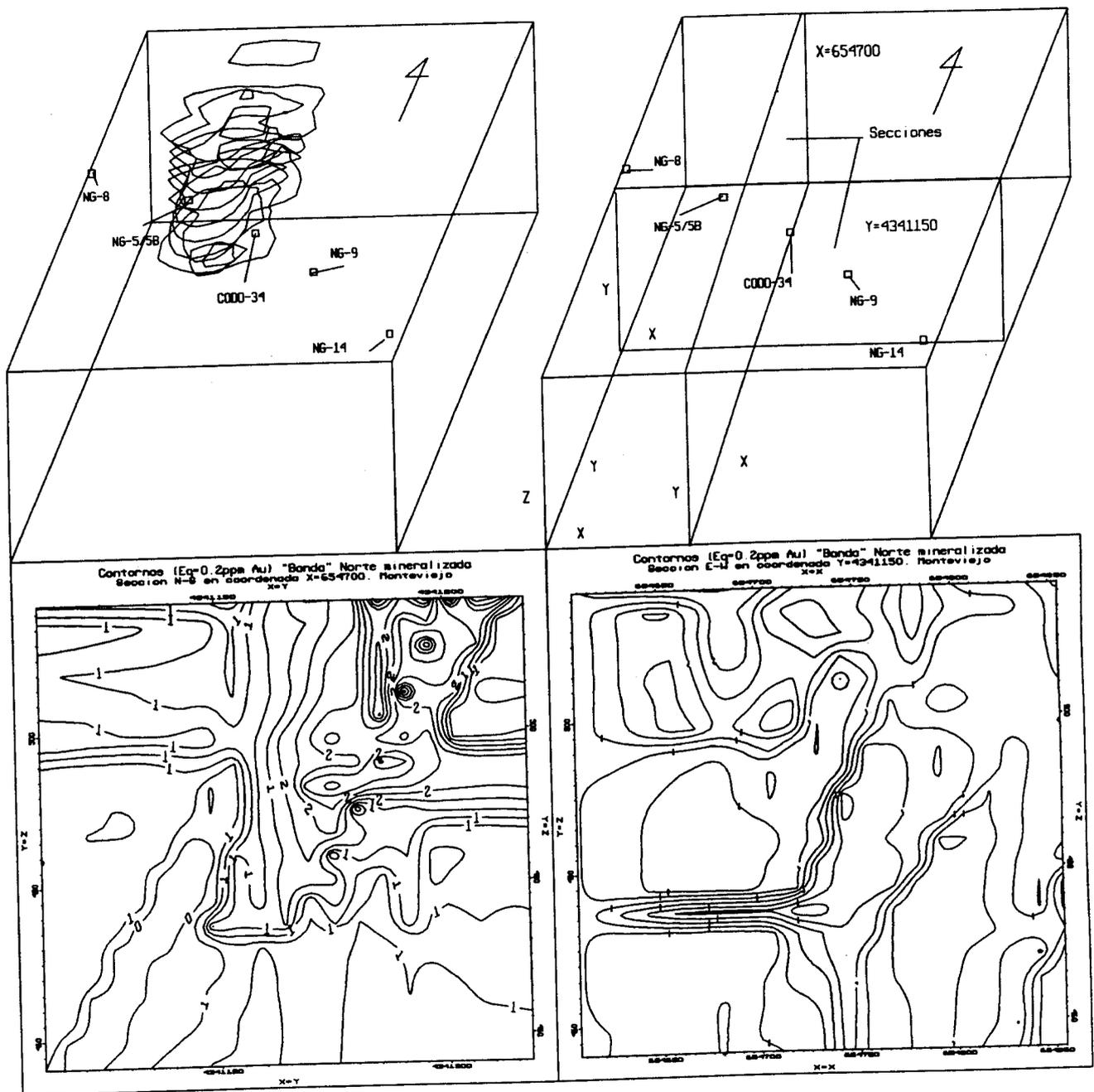


Fig.10.10.- Mapas de Contornos en Secciones en las zonas mineralizadas (Eq= 0.2ppm Au)
 "Banda" Norte, Montevideo (Sondeos NG-8, NG-5/5bis, CODO-34, NG-9 y NG-14)
 Sección N-S en coordenada X=654700
 Sección E-W en coordenada Y=4341150

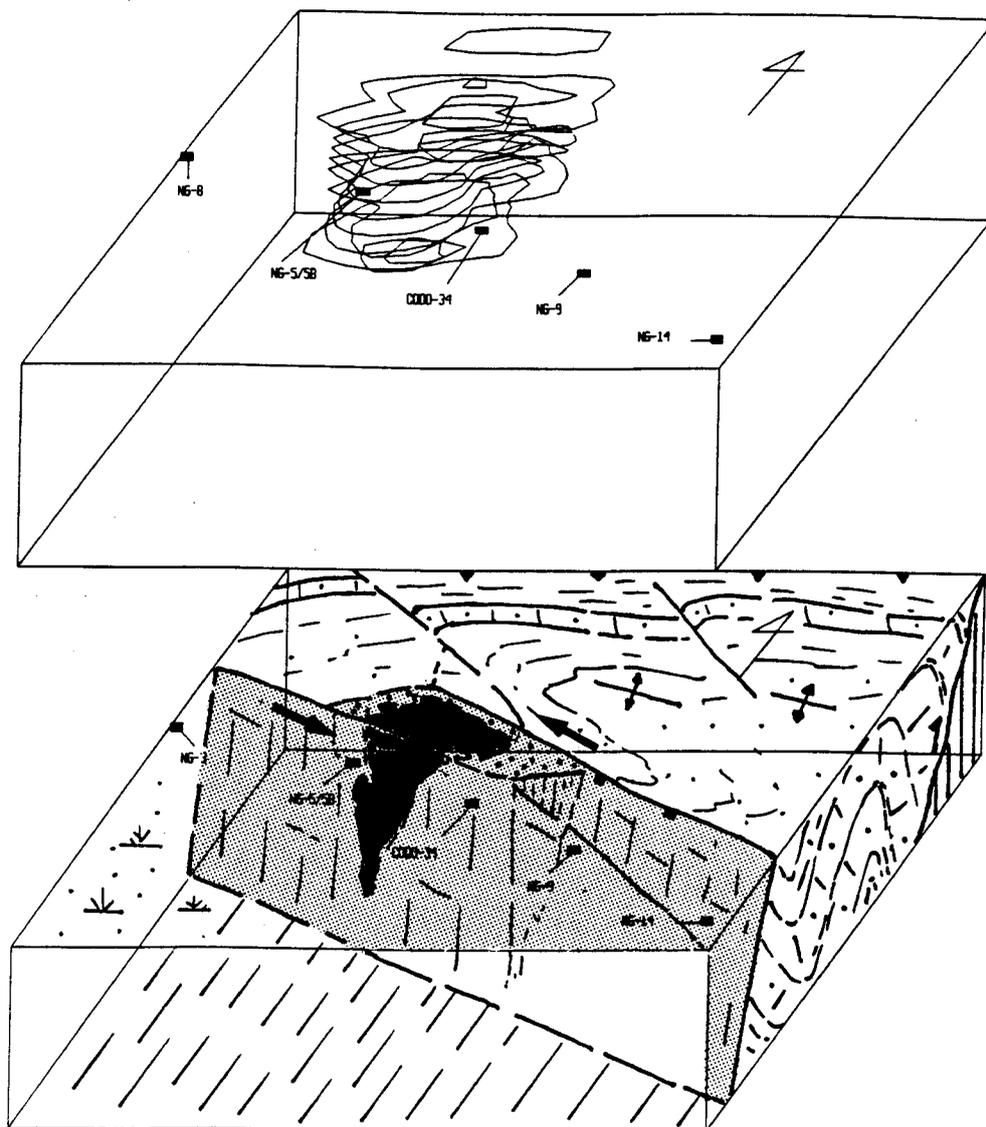
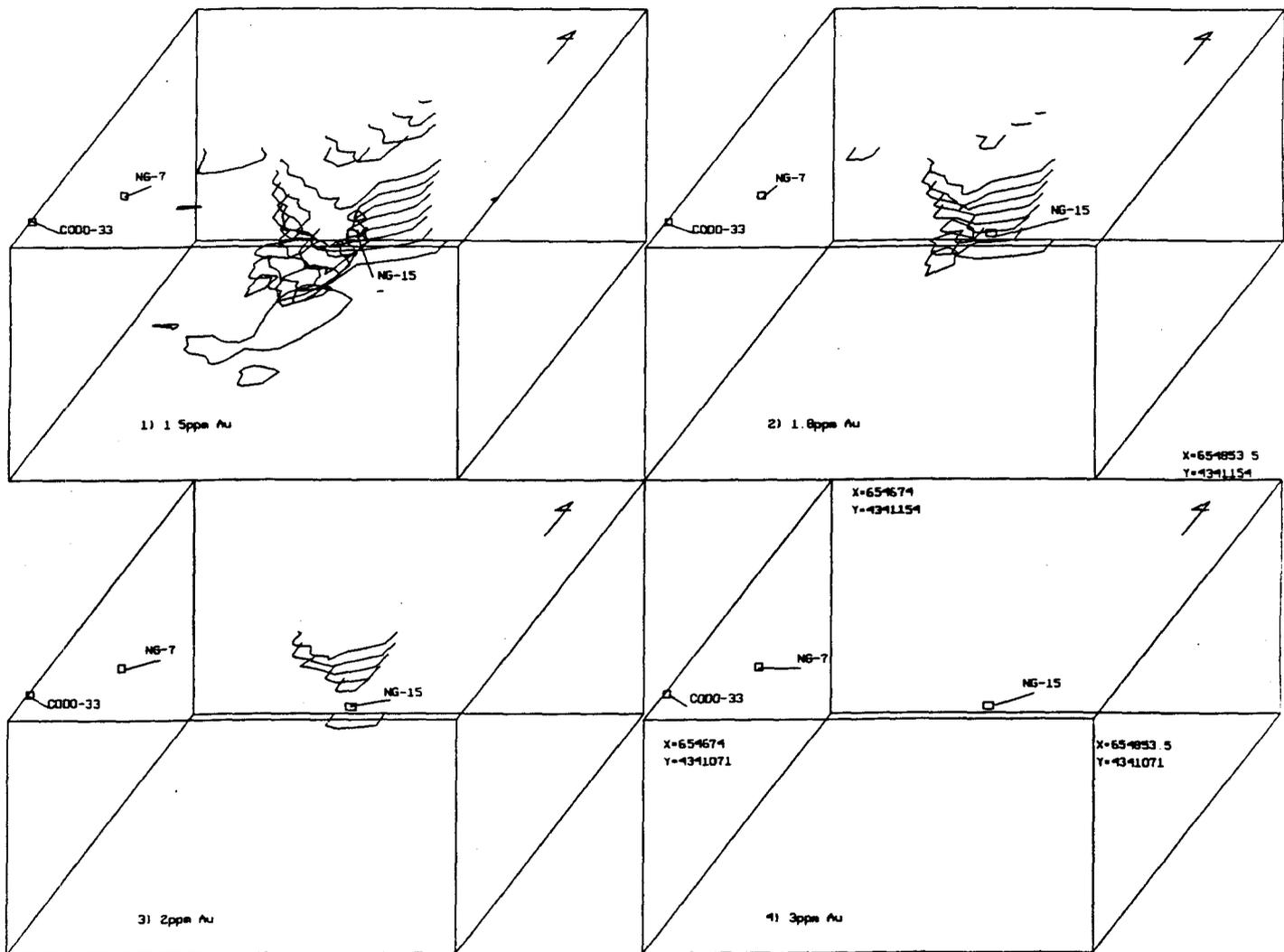


Fig.10.11.- Bloque-diagrama interpretativo de las estructuras mineralizadas y su entorno geológico. Estructura Norte, Monteviejo (Sondeos NG-8, NG-5/5bis, CODO-34, NG-9 y NG-14) (Ver discusión en el texto)

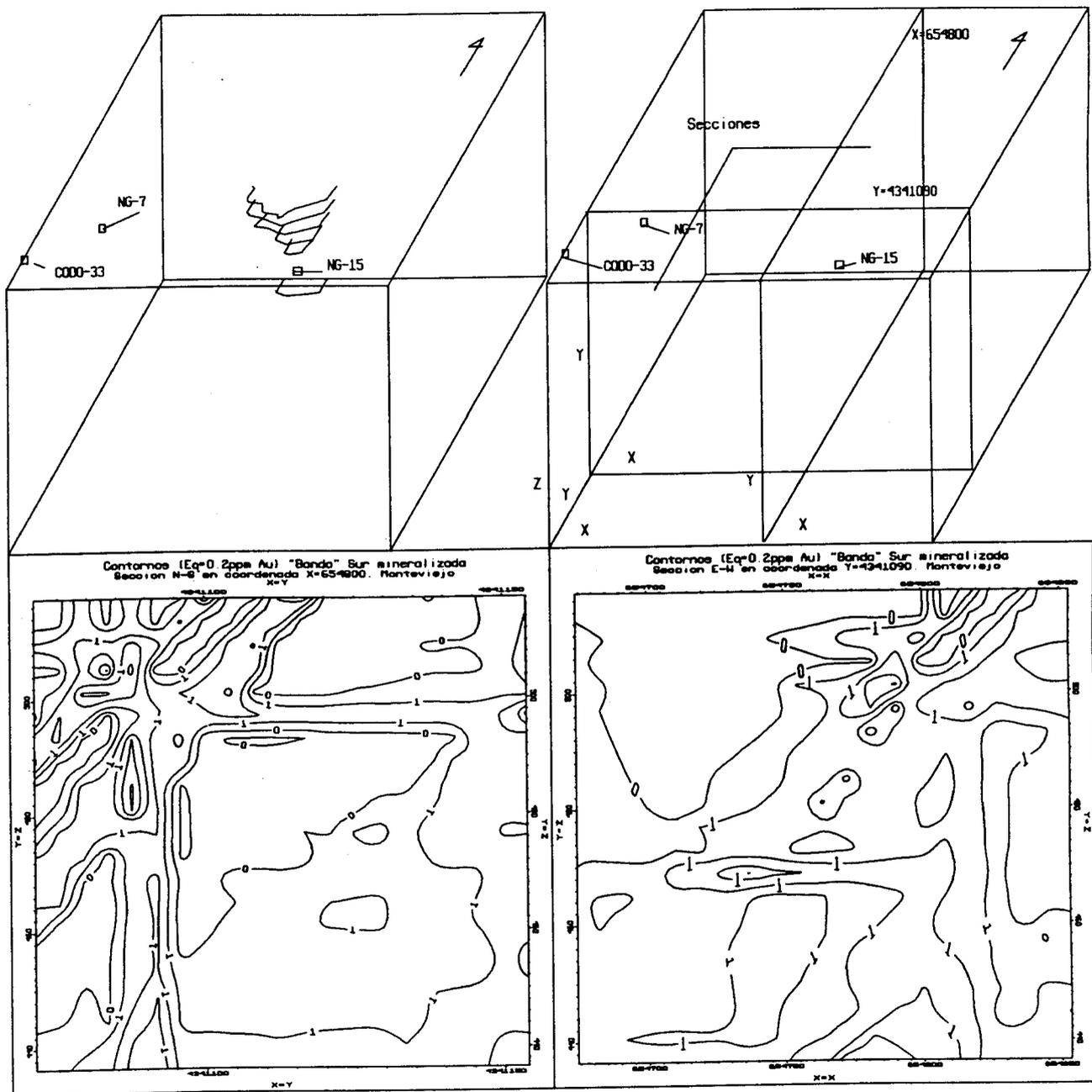
10.4.3.- Modelización de la "Banda" Sur mineralizada de Monteviejo

El bloque Sur de Monteviejo tiene una extensión de 200x85m y comprende los sondeos CODO-33 (el mas occidental), NG-7 y NG-15 (el mas oriental -Fig.10.5c-). La modelización de contenidos de oro (Fig.10.12) muestra un empobrecimiento en contenidos con respecto a las dos zonas anteriores. Se han utilizado contornos de 1.5, 1.8 y 2ppm Au en intervalos de 2m de sondeo, y no se observan contornos de 3ppm. La zona mas rica es una pequeña concentración en torno al sondeo NG-15. La distribución de contenidos puede verse en las Secciones de la Fig.10.13, donde es posible observar el trazado de las anomalías, confirmando los contenidos inferiores con respecto a las zonas anteriores.

La Fig.10.14 es un bloque-diagrama interpretativo, en un intento de correlación entre el modelo numérico de contenidos y la estructura geológica. Igualmente, la estructura mineralizada (en sombreado) es una falla con movimiento en dirección y sentido sinistral con reactivaciones en una etapa extensional. La concentración mineral se pudo originar en una zona de dilatación, que se formaría en la intersección de una falla antitética (NW-SE) con movimiento dextral, y otra de dirección aproximada E-W y movimiento sinistral.



**Fig.10.12.- Modelización de la "Banda" Sur mineralizada de Monteviejo
Sondeos CODO-33, NG-7 y NG-15
Contornos 1.5, 1.8, 2 y 3ppm Au/2m intervalo (La Codocera)
(Las coordenadas X,Y de los cuatro bloques son las mismas)**



**Fig.10.13.- Mapas de Contornos en Secciones en las zonas mineralizadas (Eq= 0.2ppm Au) "Banda" Sur, Montevideo (Sondeos CODO-33, NG-7 y NG-15)
 Sección N-S en coordenada X=654800
 Sección E-W en coordenada Y=4341090**

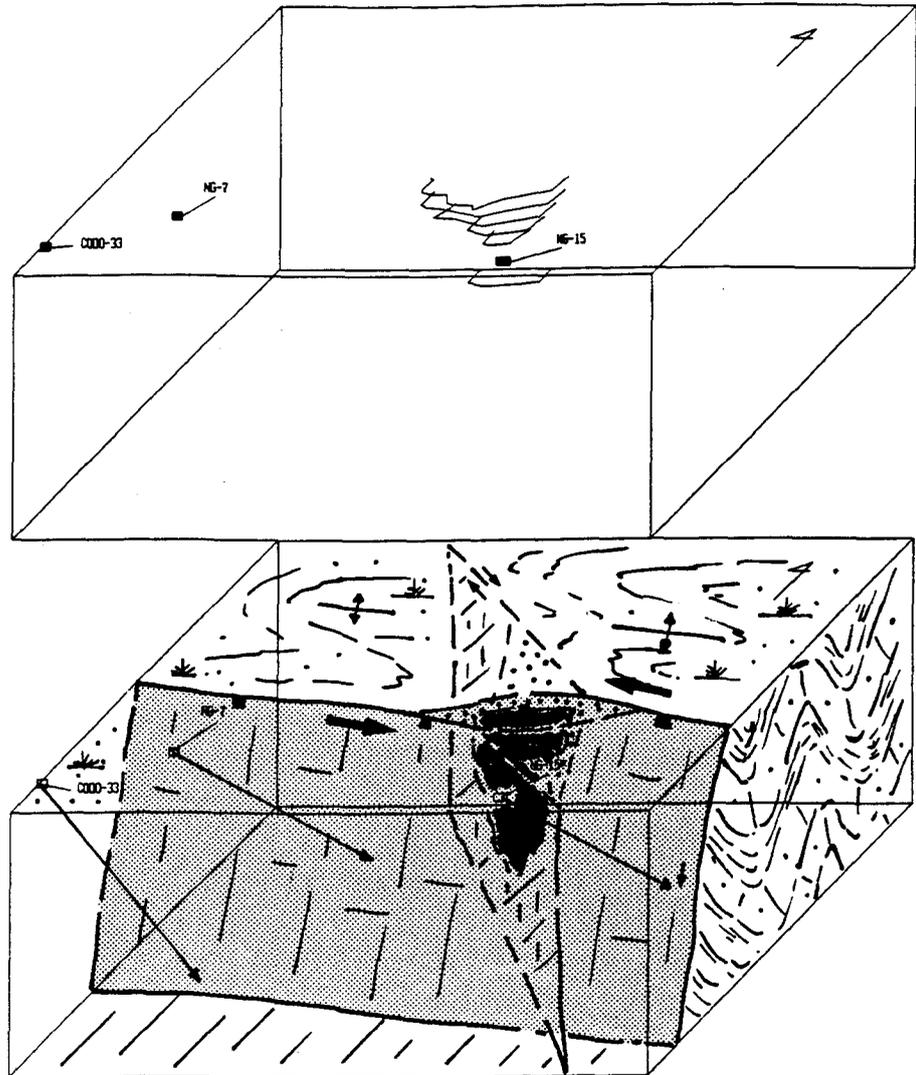


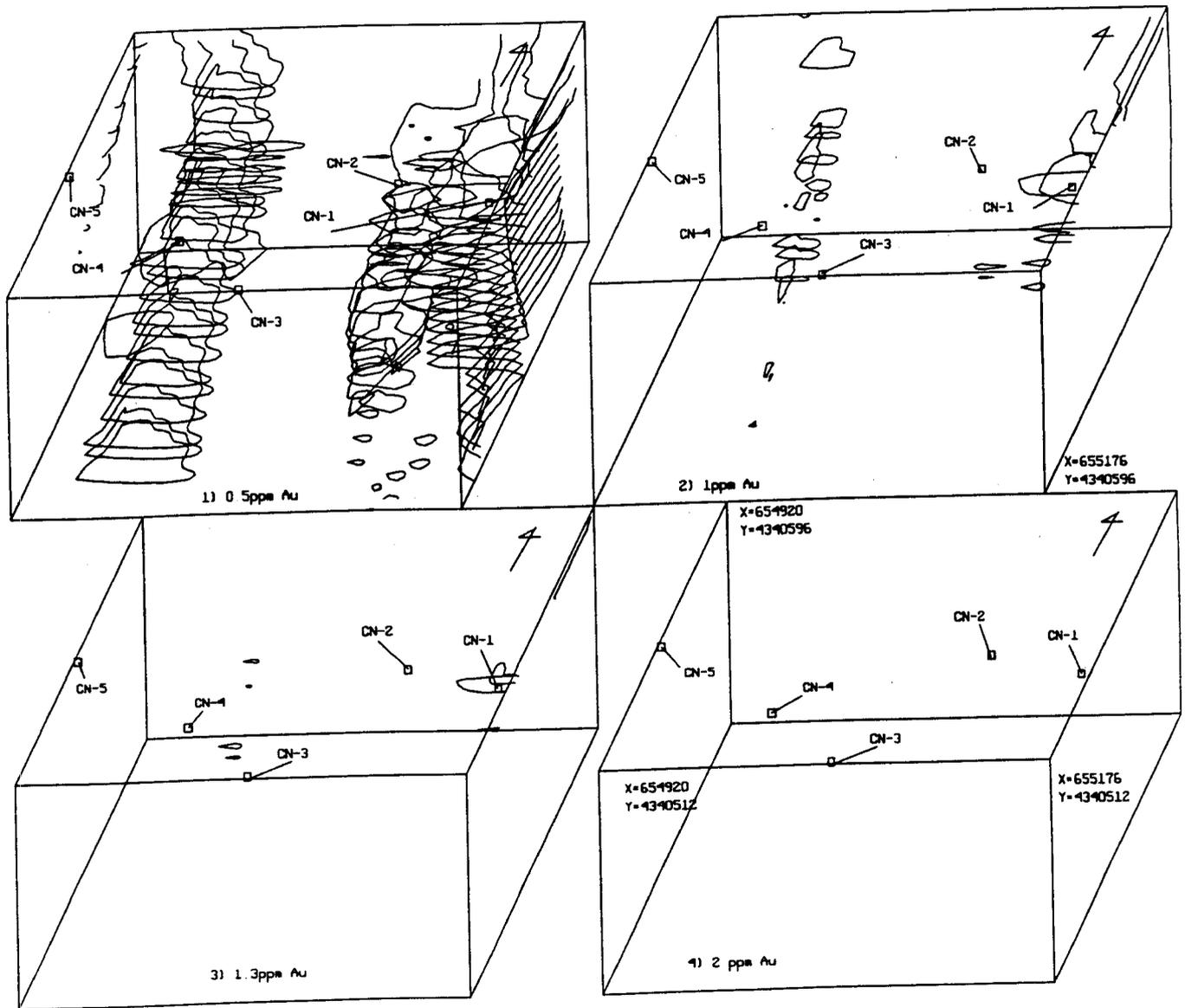
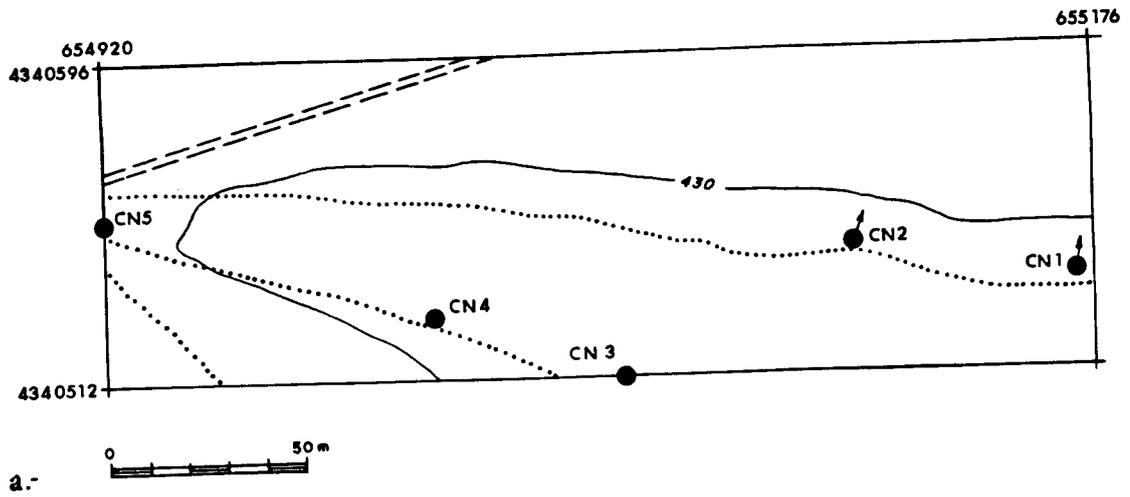
Fig.10.14.- Bloque-diagrama interpretativo de las estructuras mineralizadas y su entorno geológico. Estructura Sur, Montevideo (Sondeos CODO-33, NG-7 y NG-15)
(Ver discusión en el texto)

10.4.4.- Modelización de la zona mineralizada de la Casa de La Niña-Barrancones

Para confirmar las expectativas generadas por los tramos superficiales mineralizados, intersectados en las calicatas realizadas en la zona de la Casa de La Niña, se realizaron los sondeos CN-1 (el mas oriental), CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5 (el mas occidental) con objeto de comprobar la evolución y continuidad de la mineralización en profundidad. El área delimitada por los sondeos mencionados tiene una extensión de 250x85m (Fig.10.15a) y la modelización numérica de los contenidos pone de manifiesto que se trata de una zona en la que la mineralización presenta una cierta continuidad lateral, pero con empobrecimiento en profundidad, y con respecto a los contenidos encontrados en las Bandas mineralizadas de Monteviejo.

En la zona de La Casa de La Niña, la mineralización de oro se concentra en dos áreas; la mas oriental, entre los sondeos CN-1 y CN-2 y la occidental en torno al sondeo CN-4 (Fig.10.15b). Se han utilizado contornos de 0.5, 1 y 1.3ppm de Au en intervalos de 2m de sondeo, dado que la mineralización, en general, es mas pobre que la del área de Monteviejo. La distribución de contenidos de oro se observa claramente en la Fig.10.16, en dos Secciones N-S, transversales a cada concentración mineral, y una longitudinal (E-W), confirmándose la existencia de las dos anomalías claramente puestas de manifiesto, no conectadas entre sí, y separadas por una zona estéril.

Por último, aunque se poseen menos datos geológicos de este área que de la zona anterior (Monteviejo), se presenta un esquema interpretativo idealizado, de correlación entre las estructuras geológicas y los contenidos minerales (Fig.10.17). Las zonas mineralizadas se presentan en sombreado y con puntos (no se han marcado en negro para significar que los contenidos son menores que los del área de Monteviejo). Posiblemente, se trata de la misma estructura mineralizada (falla en dirección próxima a E-W) reactivada en etapas extensionales, desplazada por una falla NE-SW con movimiento sinistral. Las áreas de mayor concentración mineral se habrían podido generar en zonas de curvatura (bends) de la estructura mineralizada.



b.-

Fig.10.15 a.-

Situación de los sondeos CN-1, CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5 en el área de la Casa de La Niña-Barrancones.

b.-

Modelización de las zonas mineralizadas de La C^a de La Niña-Barrancones
 Sondeos CN-1, CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5
 Contornos 0.5, 1, 1.3 y 2ppm Au/2m intervalo (La Codocera)
 (Las coordenadas X,Y de los cuatro bloques son las mismas)

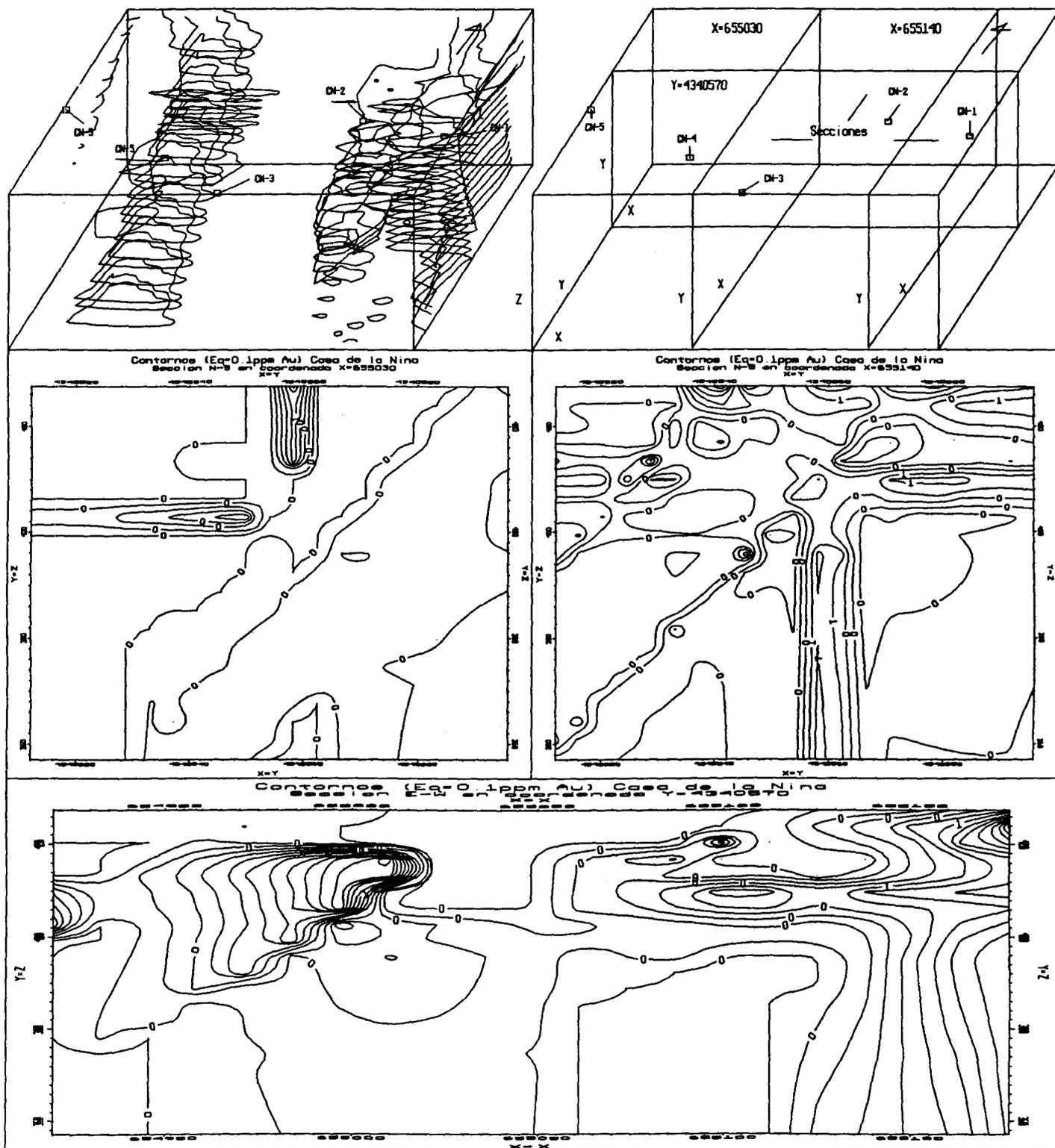


Fig.10.16.- Mapas de Contornos en Secciones en las zonas mineralizadas (Eq= 0.1ppm Au)
 Area C^a de La Niña-Barrancones (Sondeos CN-1, CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5)
 Sección N-S en coordenadas X=655030 y X=655140
 Sección E-W en coordenada Y=4340570

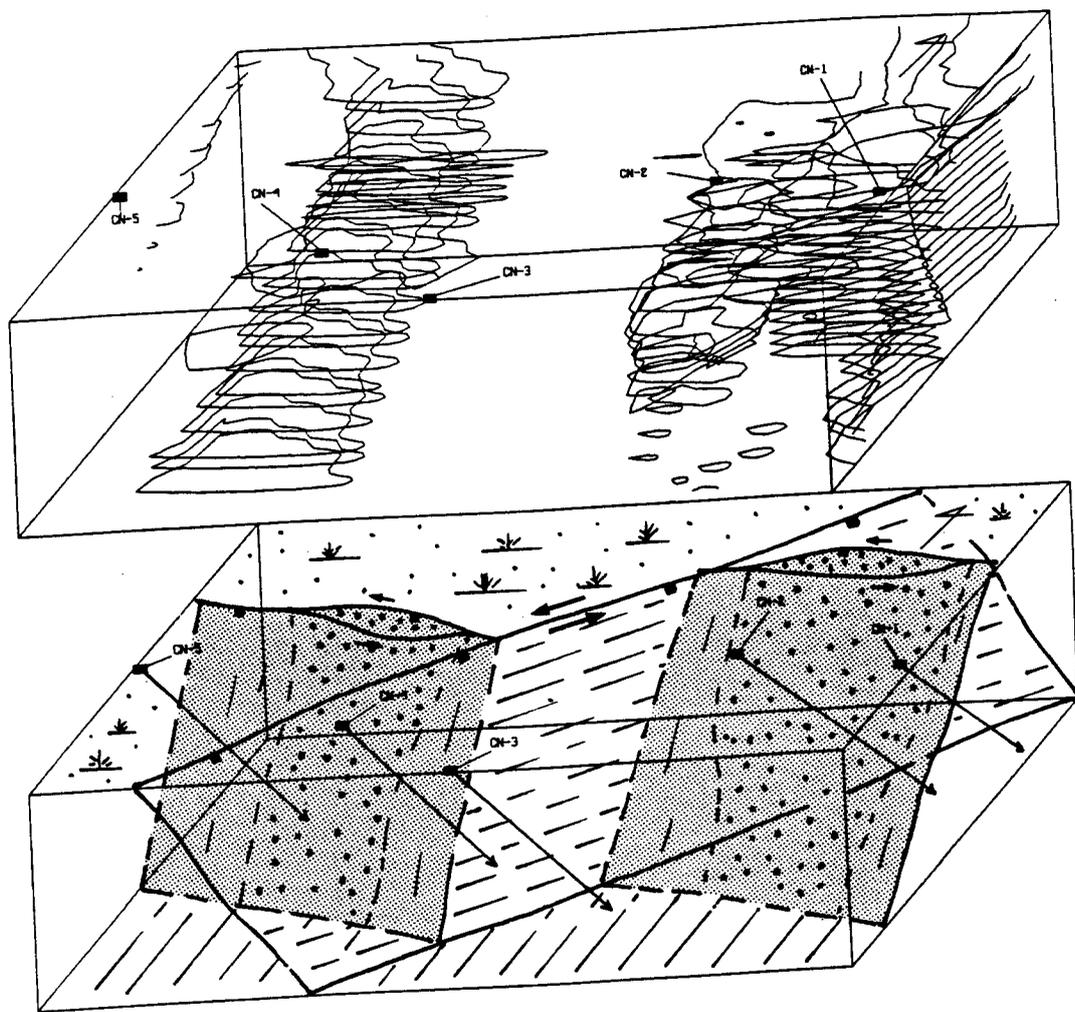


Fig.10.17.- Bloque-diagrama interpretativo de las estructuras mineralizadas y su entorno geológico.
C^a de La Niña-Barrancones (Sondeos CN-1, CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5)
 (Ver discusión en el texto)

10.5.- Mineralizaciones del área de la Sierra de La Breña

Las mineralizaciones de esta zona impregnan niveles de brechas, probablemente relacionadas con la reactivación de la estructura denominada Cabalgamiento de La Sierra de La Breña, el cual pone en contacto materiales del Paleozoico Inferior (Ordovícico) con las pizarras del Devónico del núcleo del Sinclinal de La Codosera. Estas pizarras son estériles desde el punto de vista de las mineralizaciones auríferas, pues en ellas solo se encuentran pequeñas venas que rellenan fallas de extensión de dirección NE-SW (tipo Perla de Anibal) que aunque a veces, pueden ser ricas (leyes >8g/t de Au) no tienen suficiente extensión y siempre están espacialmente próximas al cabalgamiento de La Breña (Fig.10.18)

Respecto a las mineralizaciones de impregnación de niveles de brechas ferruginosas, se realizaron tres sondeos de exploración con objeto de comprobar en profundidad los valores, superiores incluso a 20 g/t de Au, aunque puntuales de la calicata C-LXXVIII (Fig.10.18).

Los sondeos NG-11, CODO-25 y CODO-26 intersectaron el nivel y el cabalgamiento, llegando a dar resultados de hasta 2.9 g/t de Au/2m entre 33.15 y 35.15 en el NG-11. Posteriormente se comprobó en los sondeos CODO-25 y CODO-26 (ver anexo 3 y anexo acompañante de esta memoria, con los logs de detalle de cada sondeo), la escasa continuidad lateral, en sentido NW y SE de la impregnación aurífera. Por esta razón, en esta zona no se han realizado nuevos sondeos, ni tampoco se ha modelizado. No obstante, en la prolongación SE de La Breña y siguiendo antiguas labores que existen siempre en relación con el cabalgamiento de La Breña, la calicata LXXXIX, ha descubierto una zona de posible interés, con gran desarrollo de un sistema de venas, de dirección principal N95°-110°E/buzando 70°Sur de media, y que presenta contenidos de oro significativos (Fig. 10.18) que deberían ser investigados con mayor detalle en una posterior fase de exploración.

10.6.- Modelización tridimensional de la zona de Los Algarbes.

En base al estudio detallado de los testigos de sondeos, incluyendo datos estructurales, intersecciones de los diferentes conjuntos de venas, estratificación, esquistosidad, etc., así como a los datos obtenidos mediante la cartografía geológica de superficie, se ha realizado un modelo tridimensional (Ver Plano correspondiente, en Volumen III -Planos- de esta memoria). La interpretación geológica es que la mineralización aurífera se encuentra localizada en una zona de fallas de extensión, de dirección N60°-70°E. Son frecuentes las reactivaciones oblicuas, debidas a movimientos de deslizamiento en dirección y de sentido sinistral, que dan lugar a zonas de dilatación en las que se encuentran bolsadas con enriquecimientos locales. "Pinnate veins" acompañantes, de dirección N20°-25°E son también abundantes y se encuentran asociadas a la zona de falla principal.

11.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

11.- RESUMEN Y CONCLUSIONES

1.- Características geológicas y estructurales

- De la realización de la cartografía geológica del flanco sur del Sinclinal de La Codosera, se han obtenido datos sobre las características litoestratigráficas del área, desde la Secuencia Precámbrica a las Series Paleozoicas, incidiendo especialmente en la litología del Devónico Inferior, ya que en sus alternancias de cuarcitas, pizarras y areniscas ferruginosas se encuentran las principales mineralizaciones de oro objeto de este estudio.

- La importancia estructural de la zona de la Codosera estriba en su situación geotectónica especial, próxima a la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba. Por esta razón es posible observar cómo la deformación varía progresivamente de Norte a Sur. En la figura 5.1/2, queda patente el cambio en el estilo estructural desde pliegues y estructuras compresivas "cabalgamientos" (thrusts), con vergencia NNE, a estructuras de deformación propias de un régimen de cizalla, con fuerte componente en dirección (strike-slip), la cual aumenta con la proximidad a la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba.

- Existe un conjunto de estructuras de deformación frágil, principalmente fallas tardihercínicas de dirección entre N-S y NW-SE (Fig.5.1/1), de carácter extensional y con desplazamientos en dirección (laterales) de sentido dextral que afectan a las rocas paleozoicas del Sur del Sinclinal de La Codosera y son posteriores al emplazamiento del batolito de Alburquerque. Estas fallas que, han sido comprobadas en profundidad en el Mapa de anomalías de Bouguer que resultó de la gravimetría realizada en toda la zona (Campos y Gumiel 1990), presentan una geometría en "dominó" o "bookshelf" (Sanderson et al.1991). Un segundo conjunto de fallas, de dirección NE-SW, subparalelas a la falla de Plasencia, adquiere también gran importancia en la zona.

- La existencia de suficientes criterios cinemáticos, junto con la geometría en dominó de las fallas tardihercínicas que desplazan, con sentido dextral, bloques de rocas paleozoicas del flanco sur del Sinclinal de La Codosera, ha sido interpretado como que el área ha estado sometida a efectos de cizallamiento dúctil y dúctil-frágil hercínico, con sentido sinistral, y cuyo efecto fué prolongado en el tiempo. En este esquema, las fallas tardihercínicas de dirección NW-SE y movimiento dextral que constituyen esa geometría en bloques, serían fallas antitéticas de la cizalla principal de dirección E-W y sentido sinistral. Este modelo, en el que se contempla un incremento de la componente en dirección (cizalla E-W, de sentido sinistral), acompañada de acortamiento hacia la Zona de Cizalla Badajoz-Córdoba, ha sido atribuido a un régimen de transpresión prolongada (Sanderson et al. 1991).

- Se han estudiado las características estructurales del área de La Codosera, prestando especial atención a las fallas tardihercínicas, puesto que a favor de las mismas, se encuentran las principales mineralizaciones filonianas auríferas de la zona. A partir de las calicatas de exploración realizadas, se han obtenido datos estructurales de venas mineralizadas y fracturas.

- El modelo geométrico en dominó que presentan las fallas tardihercínicas en área sur de La Codosera tiene importantes implicaciones metalogénicas (Gumiel en prep.). Estas fallas cuando tienen direcciones N-S muestran poco desplazamiento lateral de las capas. Por el contrario, el desplazamiento dextrógiro aumenta considerablemente (hasta unos 3000m de desplazamiento horizontal) a medida que las fallas rotan a direcciones NW-SE. Los mecanismos de acomodación de extensión que se producen en los bloques (geometría en dominó) entre estas fallas antitéticas, tienen gran interés en el control estructural de las mineralizaciones auríferas del área de La Codosera.

2.- Características metalogénico-estructurales

Desde un punto de vista metalogénico, el modelo de geometría de fallas en dominó puede explicar la variación en la concentración y aparición de mineralizaciones auríferas del área de La Codosera. Un importante factor cinemático en el control de los fluidos mineralizadores del área de La Codosera es que los bloques rotados se adelgazan, y de esta forma es posible mantener condiciones de cizallamiento simple en los bordes de la zona. Además, los bloques rotados pueden engrosar en la vertical para, de esta forma, acomodar la reducción de anchura. En un modelo de bloques rígidos de este tipo, la deformación puede originar espacios libres o zonas de dilatación (pull-aparts) entre bloques rotados y no rotados, o en zonas determinadas de los planos de falla, dado que sus trazas son irregulares y de alguna forma están conectadas con la zona de cizalla principal.

Por otra parte, aunque existen venas de cuarzo mineralizadas con orientaciones variadas, la dirección metalogénica predominante es WNW-ESE (vector medio 296°). Existe una clara correlación entre venas auríferas y el primer conjunto de fallas antitéticas que definen la geometría en dominó. Además, es posible tener una idea de la cronología de formación de dichas venas mineralizadas, puesto que las soluciones mineralizadas se canalizan a través de ese primer conjunto de fallas, antes de que éstas queden selladas, es decir antes de que se desarrolle el segundo conjunto de fallas dextrógiras, de dirección NNW-SSE (reconocidas por Mc Gowan 1991), que acomodan la deformación durante la progresiva rotación.

Por consiguiente, la caracterización de venas auríferas es coherente con las fallas antitéticas del modelo geométrico en dominó del área, y además las zonas en las que puede albergarse una determinada concentración mineral están relacionadas con las proximidades a las fallas que sufren mayor rotación y que tienen mayores desplazamientos. En estas zonas se produce una transferencia de extensión con importantes desarrollos de veining de cuarzo, cataclasis y en definitiva, existen condiciones hidráulicas favorables, como para que se pueda producir una determinada concentración mineral, si las soluciones o fluidos que por allí circulen estuviesen metalogénicamente enriquecidos.

3.- Tipología de las mineralizaciones

Las estructuras mineralizadas del área de La Codosera son numerosas y variadas, lo que caracteriza a todos los yacimientos de tipo filoniano relacionados con zonas de cizalla. Esta característica hace que la distribución de las mineralizaciones sea irregular, a veces errática, pero siempre se trata de estructuras controladas por la tectónica. Se analizan los caracteres geométricos, principalmente la morfología típica de las venas mineralizadas, así como la disposición y modo de presentación de la mineralización en las mismas. Por otra parte, se presentan los minerales que constituyen las paragénesis y asociaciones mineralógicas y finalmente, se correlacionan las características estructurales y metalogénicas de estos yacimientos con otros similares en distritos mundialmente conocidos.

Se han determinado los cuatro siguientes tipos geométricos de estructuras mineralizadas: 1) **Venas transversales, a alto ángulo respecto a la dirección general de las estructuras** (Figs. 6.1 y 6.2). 2) **Indicios relacionados con fallas en dirección.** 3) **Mineralizaciones tipo "Saddle reef"** y 4) **Paleoplaceres** (Gumiel 1991). Los indicios de oro del área de La Codosera pertenecen a la asociación; **cuarzo-arsenopirita-pirita-oro (q-As-Fe-Au)** (Gumiel 1987, en Quesada et al, 1987).

4.- Trabajos de exploración geoquímica realizados

Se han realizado campañas de exploración geoquímica en sus modalidades de litogeoquímica y geoquímica de suelos. La litogeoquímica se ha realizado en calicatas de exploración en el área de Monteviejo y en determinados niveles litológicos, con objeto de comprobar si estaban enriquecidos en oro (mineralizaciones estratoides), o bien la mineralización está exclusivamente relacionada con las venas.

Aunque no se tienen suficientes datos como para descartar completamente la posible existencia de algún nivel enriquecido en oro de forma primaria, que fuera realmente de tipo estratoide ("stratabound") en algún sector, los conocimientos que actualmente se poseen apuntan a que los valores anómalos de oro en las brechas ferruginosas y en las cuarcitas con intenso veining de cuarzo están siempre asociados a venas. Los histogramas de frecuencia realizados para las muestras de superficie (Fig.7.5) y de testigos de sondeos (Fig.7.6) demuestran que el contenido medio en Au de las cuarcitas con veining de cuarzo, en superficie (0.62ppm Au) y en sondeos (0.49ppm Au) es muy superior al de las cuarcitas sin veining (0.008 y 0.018).

El contenido medio de oro en las brechas ferruginosas analizadas es algo más elevado (0.048ppm Au), sin considerar el de algunas brechas constituidas por fragmentos de cuarzo filoniano y matriz ferruginosa, en las que a veces, es posible distinguir el oro a simple vista, siempre asociado a los fragmentos de cuarzo filoniano y, en ocasiones, de grano muy fino y diseminado en la matriz. Estas brechas (auríferas) tienen un contenido medio de 1.095ppm, con valores hasta de 3.73ppm de Au.

Las litologías pizarrosas, en particular las pizarras negras analizadas tienen un contenido medio de 0.005ppm de Au, que coincide con el límite de detección y

únicamente cuando presentan veining de cuarzo muestran contenidos superiores, hasta 0.15ppm, con una media de 0.084ppm de Au.

La campaña de geoquímica de suelos en un área al Oeste de La Portilla ha puesto de manifiesto alguna anomalía de interés (Figs 7.7 y 7.8). Los mapas de isocontenidos (contornos) se han obtenido por dos métodos: el de malla del inverso de la distancia de cada punto, y mediante interpolación por kriging para estudiar los efectos direccionales de las anomalías resultantes.

5.- Sondeos realizados por el ITGE

Se presenta el análisis de los testigos de sondeos que el ITGE ha realizado en el flanco sur del Sinclinal de La Codosera, con objeto de conocer la tipología de las mineralizaciones de oro que allí se encuentran, y de valorar en lo posible su potencial minero.

En la testificación de los sondeos se han levantado los correspondientes logs de detalle de los testigos, teniendo en cuenta aquellos aspectos físicos, geológicos y estructurales de interés, así como los metalogénicos y mineros, con especial incidencia en la presencia de venas y sus relaciones angulares con la estratificación y el eje del sondeo. Finalmente, se ha utilizado la observación de "visu" de minerales y de forma especial, los 2400 análisis químicos de oro que se han realizado de los intervalos de los testigos que presentaban mayor interés.

Del mismo modo, a la testificación rutinaria de los sondeos se le han añadido datos de gran interés, en base al tipo de mineralizaciones investigado, como por ejemplo, medidas de potencia de venas, grado de apertura, porcentaje de venas individualizadas, veining de cuarzo en porcentajes, y finalmente, donde ha sido posible obtenerla se ha añadido la Dimensión Fractal.

Se ha efectuado un ensayo estadístico de los principales sondeos, con objeto de tener idea sobre la variación y distribución de contenidos de oro, así como de potencias de venas en los testigos.

De los resultados obtenidos se desprenden las siguientes consideraciones; en todos los sondeos estudiados, las distribuciones de los contenidos de oro son exponenciales negativas, con un intervalo de clase muy dominante (generalmente 70%) con contenidos de Au menores de 1ppm. Este porcentaje se reduce algo (50-60%), al igual que aumentan ligeramente otros intervalos, si se consideran los contenidos de Au en intervalos de 2m de testigo, pero las distribuciones siguen siendo exponenciales. Los contenidos medios de los sondeos analizados oscilan entre 0.041 y 0.752ppm de Au (Anexo 5, Tomo II), con un valor medio de 0.29ppm. Igualmente, la desviación típica de los contenidos de Au oscila entre 0.12 y 2.34, con un valor medio de 1.02. En los diagramas estandarizados (Figs.8/10,16,18 y 20) se observa idéntica distribución exponencial negativa de los contenidos en Au y se pone de manifiesto que la mayoría de las muestras contienen contenidos de Au entre -0.2 y -0.4 desviaciones típicas por debajo de la media, y que son mucho menos frecuentes las muestras que, dependiendo de cada sondeo, sobrepasan de 1 a 9 desviaciones típicas la media.

Las potencias de las venas presentan fuerte dispersión, y generalmente muestran distribuciones complejas, que oscilan entre distribuciones de tendencia log-normal, y en la mayoría de los casos, binomiales complejas (de tipo Poisson).

También se presentan cuatro paneles de correlación, en base a similitud de tramos litológicos y contenidos de oro. Las zonas seleccionadas para el ensayo de correlación son aquellas de las que se posee un mejor grado de conocimiento y un mayor número de datos, y en éstas es donde se ha realizado una modelización de contenidos de oro.

6.- Contribución del análisis fractal a la discriminación de sistemas filonianos.

Se ha estudiado la naturaleza y geometría fractal de varios sistemas filonianos auríferos de La Codosera. Se ha elegido esta zona como representante de conjuntos filonianos con mineralización de oro en rocas paleozoicas, asociados a una zona de cizalla (La zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba).

Se ha intentado, por primera vez, caracterizar formalmente los conjuntos filonianos, estudiar su organización interna y distribución, y cuantificar el grado de irregularidad de cada uno mediante su dimensión fractal. Este parámetro, específico de cada conjunto, se ha relacionado con su contenido en oro, con objeto de comprobar si es posible discriminar los diferentes grupos filonianos mineralizados y distinguirlos de los estériles en base a las características de su geometría fractal.

La dimensión fractal (D) se puede obtener a partir de la medida directa de espesores de venas, cuya distribución es fractal según la relación $N_{(t)} = Ct^{-D}$, donde $N_{(t)}$ es la frecuencia acumulada del número de venas con espesor $>$ que t , C es una constante de proporcionalidad, t el espesor y D la dimensión fractal.

Se han medido los espesores de 3760 venas en siete sondeos de exploración, y los resultados obtenidos apuntan que mayor contenido en oro se correlaciona con menor dimensión fractal. $D < 1$ en conjuntos filonianos con mas alto contenido en oro, y $D > 1$ en aquellos conjuntos que tienen menores contenidos en oro (Figs. 9.3, 9.4, 9.5a y b).

Estos primeros resultados que aquí se presentan pueden servir de referencia, y quizás en un futuro próximo, este método de discriminación de sistemas filonianos puede ser de gran utilidad en la exploración de yacimientos de características similares.

7.- Modelización de las mineralizaciones de oro del área de La Codosera.

Por ultimo, se ha realizado un intento de modelización de las mineralizaciones de oro del área de La Codosera, en un ensayo que resume una serie de observaciones a varias escalas. Se han simplificado las condiciones requeridas y se ha procurado enfocar con un sentido de aplicación, para que pueda ser útil de cara a la exploración de mineralizaciones similares. Los tipos de modelización se sintetizan en las siguientes cuatro categorías:

1) Modelización a escala regional, de Distrito (macroescala). En esta modelización, se contempla el conjunto de mineralizaciones como concentraciones auríferas relacionadas con una zona de cizalla a escala regional; la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba.

2) Modelización a escala local, de yacimiento (mesoescala), es decir de las estructuras que son susceptibles de albergar una determinada concentración mineral. Esta modelización se ha realizado en base a las características geométricas y estructurales de las áreas mineralizadas, y tiene una componente de predicción aplicable a la búsqueda de zonas con estructuras similares (Fig.10.3).

Se resalta uno de los aspectos más importantes que intervienen en la circulación de fluidos, que es la **conectividad** entre las estructuras (fracturas de segundo orden) en las que se encuentran las concentraciones minerales, y la Zona de Cizalla Principal (Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba). Las estructuras tardías (fallas antitéticas) del área de La Codosera que constituyen esa geometría típica en dominó (bookshelf) son claves para conectar las áreas mineralizadas con la Zona de Cizalla (Figs.10.1/2 y 10.2) y se interpretan como "canales" o vías de ascenso y circulación de las soluciones mineralizadoras. Otro aspecto fundamental es el suficiente flujo de fluidos.

3) Modelización metalogénico-estructural a escala regional y local. En base a los datos estructurales y metalogénicos, así como a las aportaciones del análisis fractal, se esbozan posibles mecanismos de formación y génesis de las mineralizaciones de La Codosera, a escala regional y local, que se ajustan bastante bien con los **modelos de percolación de fluidos**.

4) Modelización numérica de contenidos minerales en estructuras favorables a escala local. En base a los ensayos de correlaciones de sondeos llevados a cabo en las áreas favorables de Monteviejo ("Bandas" Oeste, Norte y Sur) y en la zona de la Casa de La Niña-Barrancones, se ha realizado una modelización numérica (3-D) de contenidos de oro, utilizando las intersecciones mineralizadas de los sondeos. Finalmente, se presentan unos modelos interpretativos, idealizados (Figs.10.8, 10.11, 10.14 y 10.17), tratando de correlacionar los modelos numéricos de contenidos con las estructuras geológicas en las que se encuentran las concentraciones minerales. En la mayoría de los casos las concentraciones minerales se encuentran en estructuras de dilatación que se generan como consecuencia de movimientos en dirección y/o reactivaciones en una etapa extensional, en determinadas fallas, de dirección principalmente WNW-ESE.

Por último, se quiere resaltar que para este tipo de mineralizaciones la metodología empleada es válida. La modelización de contenidos debe realizarse de forma sectorial dada la irregularidad de las mineralizaciones y puede aplicarse, en función de las características y dimensiones de las posibles concentraciones minerales, a otras áreas con expectativas de encontrar depósitos similares.

12.- RECOMENDACIONES

12.- RECOMENDACIONES

En base a todo lo expuesto anteriormente, se considera que actualmente existen criterios suficientes como para poder reducir el área de La Reserva de La Codosera, de ahí que se solicitara su segregación en dos Reservas del Estado (Informe Técnico, 1992), eliminando la parte central ocupada por las pizarras del núcleo del Sinclinal. De esta forma, y con objeto de que las áreas más favorables de albergar concentraciones auríferas de interés estén dentro de las áreas de las Reservas del Estado, se solicitó el desglose de la Reserva Estatal actual en las:

1.- **Reserva Provisional La Tojera** que engloba todas las zonas de interés encontradas en las sucesivas fases de exploración, y las potencialmente favorables del Sector Sur del Sinclinal de La Codosera.

2.- **Reserva Provisional Jola**, que comprende todas las áreas de potencial interés aurífero en el Sector Central, las cuales están aún insuficientemente conocidas y se pretenden investigar en una siguiente fase de exploración. Este sector ha sido seleccionado por su posible potencial minero.

En base a los conocimientos adquiridos en la zona Sur del Sinclinal de La Codosera, se ha descartado el área que ocupan las pizarras del núcleo del Sinclinal. La experiencia adquirida en este Sector pone de manifiesto los siguientes hechos que hay que considerar, de cara a la exploración de mineralizaciones auríferas:

1.- Existencia de labores antiguas, probablemente de origen Romano, con varias épocas de beneficio. Estas labores se disponen en relación con algún accidente estructural (fallas de extensión, cizallas o planos de cabalgamiento - fallas inversas de bajo ángulo etc.). En el Sector Central existen abundantes labores, algunas de considerable envergadura, Chirriato, Peñón Gran Labor Romana, Marianella y Jola.

2.- Las mineralizaciones se presentan en haces filonianos cuya distribución es irregular, pero siempre compatible con el efecto de cizallamiento (transpresión) general que ha sufrido la zona.

3.- El desarrollo de los haces filonianos mineralizados está favorecido por una litología específica, brechas ferruginosas y alternancias de cuarcitas y pizarras, del Ordovícico Inferior o del Devónico, con ferruginización. Esto es un hecho notable y fácilmente observable en el campo, pues el desarrollo de abundante veining de cuarzo se ve favorecido en las cuarcitas y en las proximidades de accidentes tectónicos importantes, como pueden ser fallas de extensión o zonas de cabalgamientos con procesos de reactivación que favorecen la circulación de fluidos hidrotermales.

4.- Como se ha puesto de manifiesto en el Sector Sur, la disposición de los haces filonianos mineralizados se organiza según una determinada estructura. Es frecuente encontrar direcciones mineralizadas preferentemente WNW-ESE. En el Sector de Jola-Chirriato, las estructuras filonianas siguen una dirección principal E-W (N85°-120°E) cuya disposición puede estar relacionada con un cizallamiento WNW-ESE de movimiento sinistral, que afectó en particular al Sector Central. Esta hipótesis debe ser

confirmada en una fase posterior de la investigación, pues por el momento no se tienen más datos rigurosos que la confirmen.

Por ahora, lo que se puede afirmar es que los indicios y labores del Sector Central consisten en grupos de haces filonianos, sin a postcinemáticos, con cuarzo, arsenopirita, pirita y a veces oro visible, en venas individualizadas cuya potencia oscila entre 10 y 100 cm y que siguen direcciones próximas a E-W.

Falta aún por comprobar si la configuración de las venas responde a un mecanismo de cizallamiento sinistral que afectó al sector, y es el momento, en base a la experiencia adquirida en el Sector Sur, de aplicar el análisis fractal en afloramientos mediante transversales, como método de discriminación de venas que sirva de apoyo al resto de los trabajos normales de prospección que se puedan llevar a cabo en la futura fase de exploración.

En definitiva, lo que se pretende es llegar a conocer las posibles áreas con anomalías de oro, así como la distribución y organización de los diferentes sistemas o haces filonianos con objeto de estimar su potencial aurífero. Además llegar a comprender los mecanismos de formación de los yacimientos, estudiando las analogías y diferencias de estas mineralizaciones con respecto a las mejor conocidas del Sector Sur.

Finalmente, una última recomendación que conviene destacar es que sería interesante, en cualquier investigación futura que se plantee en la zona, llevar a cabo estudios de signatura geoquímica multielemental, de forma que se puedan establecer, mediante análisis por ICP, un conjunto de elementos que puedan ser utilizados como "pathfinder" del oro y que sirvan, no solo de cara a la exploración, sino también para la caracterización geoquímica de la mineralización aurífera.

13.-BIBLIOGRAFIA

13.- BIBLIOGRAFIA

Abalos, B.(1989). Structural Geology of the Ribera del Freno window (Badajoz-Córdoba Shear Zone). *Rev.Soc.Geol.España*,2,103-112.

Abalos, B. & Eguiluz, L.(1990). El corredor blastomilonítico de Badajoz-Córdoba: un complejo orogénico de subducción/colisión durante la Orogenia Pan-Africana. Cinemática, dinámica e historia de levantamiento del apilamiento de unidades tectónicas. *Geogaceta*,7,71-73.

Abalos, B. Ramón LLuch, R. & Martínez Torres, L.M. (1990). Remote sensing analysis of lineaments on a single image: the role of the "human factor" and its relevance in tectonic studies and mineral exploration. *Cuadernos Lab.Xeol.Laxe*,15,157-170.

Aizpurua, J., Gumiel, P. & Pineda, A (1982). Introducción al estudio de los yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico Meridional. *Bol.Geol.Min.*,93-5,390-414.

Angelier, J. & Mechler, P.(1977). Sur une méthode graphique de recherche des contraintes principales également utilisable en tectonique et en séismologie: la méthode des dièdres droits. *Bull.Soc.géol.France*,7-19,6,1309-1318.

Apalategui, O., Eguiluz, L & Quesada, C.(1990). Structure. Part V. Ossa Morena Zone. In *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (eds Dallmeyer, R.D. & Martínez García, E.). Springer Verlag, Berlin, 280-291.

Arribas, A. (1975). Caracteres geológicos de los yacimientos españoles de uranio. *Stvdia Geol. Apertura Curso Acad. 1974-75.* Salamanca.

Arribas, A. (1978). Mineral paragenesis in the Variscan metallogeny of Spain. *Stvdia Geol.*,14,223-260.

Arribas, A. & Gumiel, P.(1984). First occurrence of a strata-bound Sb-W-Hg deposit in the Spanish Hercynian Massif. In: *Syngenesi and epigenesis in the formation of mineral deposits.* (eds.A. Wauschkuhn,A.,Kluth,C. & Zimmermann, R.A.) Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,469-481 (1984).

Arthaud, F. & Matte, Ph.(1975). Les décrochements tardi-Hercynian du sud-ouest de l'Europe. Geometrie et essai de reconstitution des conditions de la deformation. *Tectonophysics*,25,139-171.

Axen, G.J. (1988). The geometry of planar domino-style normal faults above a dipping basal detachment. *J.Struct.Geol.*10,405-411.

Barton, C.A. & Zoback, M.D. (1990). Self-similar distribution of macroscopic fractures at depth in crystalline rock in the Cajon Pass scientific drill-hole: in Barton, N. and Stephansson, O. eds., *Rocks Joints*:Balkema, Rotterdam, 163-170.

Bonnemaison, M. & Marcoux, E.(1987). Les zones de cisaillement aurifères du socle hercynien français. *Chron.Rech.Min.*,488.

Brun, J.P. & Burg, J.P.(1982). Combined thrusting and wrenching within the Ibero-Armorican Arc: a corner effect during continental collision. *Earth.Plat.Sci.Let.*,61,319-322.

Burg, J.P., Iglesias, M., Laurent, P.H., Matte, P.H. & Ribeiro, A.(1981). Variscan intercontinental deformation: The Coimbra-Córdoba shear zone (SW Iberian Peninsula). *Tectonophysics*, 78,161-177.

Campos, R. & Gumiel, P.(1990). Estudio gravimétrico en Extremadura, (Zonas de La Codosera-Alburquerque y Albalá) y su aplicación a la exploración de yacimientos minerales. *Bol. Geol. Min.*101-1,122-134.

Capote, R., Casquet, C., Fernandez Casals, M.J., Moreno, F., Navidad, M., Peinado, M.& Vegas, R.(1977). The Precambrian in the Central Iberian Zone of the Iberian Massif. *Estudios Geol.*,33,343-355.

Correia Perdigao & Peinador Fernandes (1976). Carta geologica de Portugal. Noticia explicativa da folha 29-C (Marvao). *Serv. Geol. Portugal* (lisboa).

Cox,S.F., Wall,V.J., Etheridge, M.A. & Potter, T.F.(1991). Deformational and metamorphic processes in the formation of mesothermal vein-hosted gold deposits-examples from the Lachlan Fold Belt in Central Victoria, Australia. *Ore Geol.Rev.*,6,391-423.

Davis, J.C.(1986). *Statistics and data analysis in Geology* (2nd ed.), John Willey & Sons,1-646p.

Dibblee, T.W.(1977). Strike-slip tectonics of the San Andreas fault and its role in Cenozoic basin evolution. In: *Late Mesozoic and Cenozoic sedimentation and tectonics in California* (edited by T.H. Nilsen). *San Joaquin Geolog. Soc.*26-38.

Diez Balda, M.A.(1986). El Complejo esquisto-grauváquico, las series paleozoicas y la estructura hercínica al Sur de Salamanca. *Acta Salmant. Sec. Ciencias. Salamanca*, 52,1-162.

Diez Balda, M.A., Martinez Catalan, J.R., Gonzalez Lodeiro, F. & Iglesias, M. (1977). La deformación Hercínica en los materiales Paleozoicos y Precámbricos al sur de Salamanca. *Studia Geologica*, 12,91-108.

Diez Balda, M.A., Vegas, R. & Gonzalez Lodeiro, F. (1990).Structure.Part IV Central Iberian Zone. In: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (eds Dallmeyer, R.D. & Martinez García, E.).Springer Verlag, Berlin, 172-188.

Eguiluz, L., Abalos, B. & Gil Ibarra, J.I.(1990). Eclogitas de la banda de cizalla Badajoz-Córdoba (Suroeste de España). Datos petrográficos y significado geodinámico. *Geogaceta*, 7,28-31.

Eisenlohr, B.N., Groves, D. & Partington, G.A. (1989). Crustal-scale shear zones and their significance to Archaean gold mineralization in Western Australia. *Min.Dep.*24,1-8.

Gallego, M.(1992). Las mineralizaciones de Litio asociadas a magmatismo ácido en Extremadura y su encuadre en la Zona Centro-Ibérica. Unpublished Tesis Doct. Univ. Compl. Madrid, 1-323.

Gallego, M. Gumiel, P. (in litt). La mineralización de Li de Tres Arroyos (Alburquerque, Badajoz), como resultado de la evolución mineralógica y geoquímica del batolito de Alburquerque. *Geogaceta* 13 (in litt.)

Garfunkel, Z. & Ron, H.(1985). Block rotation and deformation by strike-slip faults 2. the properties of a type of macroscopic discontinuous deformation. *Journ.of Geophys.Research* 90,589-602.

Gumiel, P., Arribas, A. y Saavedra, J.(1976). Geología y metalogenia del yacimiento de estibina-scheelita de San Antonio. Alburquerque (Badajoz). *Studia Geol.* V 10,61-93.

Gumiel, P. (1983). Metalogenia de los yacimientos de antimonio de la Península Ibérica. *Tecniterrae*, 54, 1-120.

Gumiel, P. & Arribas, A (1987). Antimony deposits in the Iberian Peninsula . *Econ. Geol.* Vol. 82, pp 1453-1463 (1987).

Gumiel, P. & Arribas, A (1990). Metallogeny of the Spanish Central Iberian Zone. In: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia.* eds. R.D. Dallmeyer and E.Martinez Garcia, Springer - Verlag, Berlin, 212-219.

Gumiel, P., Antón-Pacheco, C. & Campos, R.,Eds (1991). Development of new multi -disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the Western Iberian Peninsula. *Publicaciones especiales, Bol.Geol.Min.,*1-109.

Gumiel, P (1991). Gold exploration targets in Extremadura Region. *International Congress on Applied Mineralogy, ICAM'91.* Vol.1 paper 20, Pretoria (South Africa).

Gumiel, P. & Gallego, M. (1991). Geological background of the La Codosera area In: *Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of western Iberian Peninsula* (eds. Gumiel, P., Antón-Pacheco, C.& Campos, R.) *Public. Especiales, Bol.Geol. Min.,*1-109.

Gumiel, P., Sanderson, D.J., Roberts, S. & Campos, R.(1992a). El uso del análisis fractal como discriminación de sistemas filonianos auríferos en el área de La Codosera, Extremadura (España). *Geogaceta*, 12,3-7pp.

Gumiel, P. Sanderson, D.J., Roberts, S. & Campos R. (1992b): Contribución del análisis fractal a la testificación de sondeos en la exploración de yacimientos filonianos auríferos. El caso de La Codosera, Extremadura. Actas t. 3, III Cong. Geol.España, VII Lat.-Amer.de Geología.Salamanca, 378-82.

Gumiel, P. (en prep.): Implicaciones metalogénicas del modelo dominó de fallas tardihercínicas en el control de las mineralizaciones auríferas de La Codosera (en prep.).

Gutenberg, B. & Richter, C.F. (1954): Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, 2nd ed., Princeton University Press.1-310.

Huang, Q & Angelier, J. (1989): Fracture spacing and its relation to bed thickness. Geol. Mag.126, 355-362.

Julivert, M., Fontboté, J.M., Ribeiro, A. & Conde, L. (1974): Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares. IGME, 1-101.

kakimi, T. (1980): Magnitude-frequency relation for displacement of minor faults and its significance in crustal deformation. Geol.Soc.Japan.Bull.,31,467-487.

Lefort, J.P. & Ribeiro, A. (1980): La Faille Porto-Badajoz-Cordue a-t-elle controlé l'évolution de l'océan paléozoïque sud-armoricain?. Bull.Soc.Geol.Fr.,22,455-462.

Lotze, F.(1945): Zur Gliederung des Varisciden der Iberischen Meseta. Geotekt.Forsch., 6,78-92.

Lloyd, G.E. & Knipe, R.J. (1992): Deformation mechanisms accommodating faulting of quartzite under upper crustal conditions. J.Struct.Geol.,14-2,127-143.

Mac Donald, W.D. (1980): Net tectonic rotation, apparent tectonic rotation, and the structural tilt correction in palaeomagnetic studies. J. Geophy.Res.85,3659-3669.

Mac Coss, A.M. (1986): Simple constructions for deformation in transpression /transtension zones. J.Struct.Geol,8-6, 715-718.

Mc Gowan, J.A. (1991): Hercynian Transpressional tectonics at the southern margin of the Central Iberian Zone, Western Spain. Unpublished Ph.D thesis. University of Southampton,1-210.

Mc Kenzie, D & Jackson, J.(1983): The relationship between strain rates, crustal thickening, palaeomagnetism, finite strain and fault movements within a deforming zone. Earth.Planet.Sci.Let.65,182-202.

Mc Kenzie, D. & Jackson, J.(1986): A block model of distributed deformation by faulting. J.Geol.Soc.Lond.143,349-53.

Mandelbrot, B.B. (1967). How Long is the Coast of Britain? Statistical Self-similarity and the Fractal Dimension of the Coastlines, and the Number-area Rule for Islands, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 72,3825-3828.

Mandelbrot, B.B.(1977). *The Fractal Geometry of Nature*. Freeman & Company, New York, 1-468.

Mandl, G.(1987). Tectonic deformation by rotating parallel faults: the "bookshelf" mechanism. *Tectonophysics* 141,277- 316.

Martin-Izard, A.(1986). Caracteres tectónicos de los metasedimentos del oeste de la provincia de Salamanca. *Est.Geol.*42,415-432.

Narr, W. & Suppe, J.(1991). Joint spacing in sedimentary rocks. *J.Struct.Geol.*13,1037-1048.

Nur, A., Ron. H. & Scotti, O. (1986). Fault mechanics and the kinematics of block rotations. *Geology*, 14,746-749.

Oen Ing Soen (1970). Granite intrusion, folding and metamorphism in central northern Portugal. *Bol.Geol.Min.* 81,271-98.

Ortega, E. (1988). Geology and metallogeny of the Almaden area, Centro-Iberian Zone, Spain. In *Second European Workshop on Remote Sensing in Mineral Exploration*. CEC Report EUR 11317,145-173.

Priest, S.D. & Hudson, J.A. (1976). Discontinuity spacing in rock. *Int.J.Rock Mech. & Mining Sci & Geomech. Abs.*13,135-148.

Quesada, C. & Ribeiro, A. (1989). Palaeozoic terrane map of the Iberian Peninsula. In: J.D.Keppie & R.D. Dallmeyer (compilers), *Tectonic map of Pre-Mesozoic Terranes in Circum-Atlantic Phanerozoic Orogens*. IGCP Project 233: Terranes in Circum-Atlantic Palaeozoic Orogens.

Quesada, C., Florido, P., Gumiel, P. & Osborne, J.(1987). Memoria del Mapa Geológico-Minero de Extremadura. E/1:300.000. Junta de Extremadura, Consejería de Industria y Energía. 1-

Ramsay, J.G.(1980). The crack seal mechanism of rock deformation. *Nature*, 284,135-139.

Ribeiro, A.(1974). Contribution á l'étude tectonique de Trás-os-Montes occidental. *Mem.Serv.Geol.Portugal*, 24(nueva ser.),1-168.

Ribeiro, A., Quesada, C. & Dallmeyer, R.D. (1990). Geodynamic evolution of the Iberian Massif. Part VIII. In: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (eds Dallmeyer, R.D. & Martinez García, E.). Springer Verlag, Berlin, 399-410.

Rives, T., Razack, M., Petit, J.P. & Rawnsley, K.D. (1992). Joint spacing: analogue and numerical simulations. *J.Struct.Geol.*14,925-937.

Roberts, S., Sanderson, D.J., Gumiel, P. & Dee, S.(1991). Tectonic and fluid evolution of auriferous quartz veins from the La Codosera Area, SW Spain.*Economic Geology*, 86, 1012-1022.

Ron, H., Freund, R., Garfunkel, Z. & Nur, A.(1984). Block rotation by strike-slip faulting: structural and paleomagnetic evidence. *J.Geophy.Res.*89, 6256-70.

San José, M.A., Pieren, A.P., García Hidalgo, J.F., Vilas, L., Herranz, J.R., Pelaez, J.R. & Perejon, A.(1990). Ante-Ordovician stratigraphy. Part IV Central Iberian Zone. In: *Pre-Mesozoic Geology of Iberia* (eds Dallmeyer, R.D. & Martinez García, E.).Springer Verlag, Berlin, 147-159.

Sanderson, D.J.& Marchini, W.R.D. (1984). Transpression. *J.Struct.Geol.*5,449-458.

Sanderson, D.J., Chinn,C. & Bentham, J.(1990). Landsat lineaments and the structural control of mineralization. In: *Development of new multi-disciplinary techniques for mineral exploration in several areas of western Iberian Peninsula*. Gumiel, P., Antón-Pacheco, C. & Campos, R.,Eds (1991). *Publicaciones especiales, Bol.Geol.Min.*,1-109.

Sanderson, D.J., Roberts, S., Mc Gowan, J.A. & Gumiel, P (1991). Hercynian transpresional tectonics at the Southern margin of the Central Iberian Zone, West Spain. *Journ.Geol.Soc.London.*,148,893-898.

Sanderson, D.J., Roberts, S. & Gumiel,P.(in litt.). A fractal relationship between vein thickness and gold grade in drill-core from La Codosera, Spain. *Econ.Geol.*(aceptado para publicación).

Santos, J.A. & Casas, J.(1979). Geología del sinclinorio de Sao Mamede - La Codosera. Zona española (provincias de Cáceres y Badajoz). *Bol. Geol. Min.* 95.420-431.

Santos García, J.A. & Casas Ruiz, J. (1982). Mapa Geológico de España, escala 1:50000 (segunda serie MAGNA) Hoja núm.750, Gallina.IGME, Madrid.

Saupé, F. (1971). Stratigraphie et petrographie du quartzite du criadero (Valentien) á Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne).*Mem.B.R.G.M.*, 73,139-147.

Scholz,C.W. & Cowie, P.A.(1990). Determination of total strain from faulting using slip measurements. *Nature*,346, 837-839.

Sibson, R.H. (1977). Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. Lond.*133,191-213.

Sibson, R.H. (1985). Stopping of earthquake ruptures at dilational fault jogs. *Nature*, 316,248-51.

Sibson, R.H., Robert, F. & Poulsen, H. (1988). High angle faults, fluid pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*,16,551-555.

Simón Gómez, J.L. (1986). Analysis of a gradual change in stress regime (example from the eastern Iberian Chain, Spain). *Tectonophysics* 124,37-53.

Stauffer, D. (1985). Introduction to Percolation Theory: Taylor & Francis, London.

Tamain, G. (1972). Recherches géologiques et minières en Sierra Morena orientale (Espagne). Thèse Univ.Paris Sud (Centre d'Orsay), 3, 1-870.

Tamain, G., Outrecht, A., Carre, J., Heloir, J.P., Peran, M. & Poupon, G.(1971). L'Ordovicien de la Sierra Morena Orientale (Espagne). C.R. 94. Cong. Nat. des Soc. Savantes Pan. 1969. Sciences.T - II, 275-292.

Terzaghi, R. (1965). Sources of error in joint surveys: *Geotechnique*,15,287-304.

Turcotte, D.L.(1986): A Fractal Approach to the Relationship between Ore Grade and Tonnage. *Economic Geology*, v.81 p1528-1532.

Turcotte, D.L.(1989): Fractals in Geology and Geophysics. *Pageoph.*,v.131 n°1/2,p171-196.

Turcotte, D.L.(1991): Fractals in Geology: What are they and what are they good for?. *GSA Today*, v.1,n°1. Wernicke, B. & Burchfiel, B.C.(1982). Modes of extensional tectonics. *J.Struct.Geol.*4, 105-15.

Villaescusa, E. & Brown, E.T. (1990). Characterizing joint spacial correlation using geostatistical methods. In: *Rock Joints* (Barton, N & Stephansson, O. eds.).Balkema, Rotterdam, 115-122.

Walsh, J., Watterson, J. & Yielding.G. (1991). The importance of small-scale faulting in regional extension. *Nature*,351, 391-393.

Willis, G.F. & Tosdal, R.M. (1992). Formation of Gold Veins and Breccias during Dextral Strike-Slip Faulting in the Mesquite Mining District, Southeastern California. *Econ. Geol.*,87,2002-2022.

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Fig.4.1/a.- Situación de la zona de La Codosera en el borde sur de la Zona Centroibérica, próxima a la Zona de Ossa Morena. 4.1/b.- Esquema geológico de la zona de Alburquerque-La Codosera con los principales dominios litoestratigráficos y situación del área con mineralizaciones auríferas estudiadas.

Fig.4.2.- Serie estratigráfica generalizada del área de La Codosera.

Fig.4.3.- Serie estratigráfica de detalle del Devónico, encajante de las principales mineralizaciones auríferas, del flanco sur del Sinclinal de La Codosera.

Fig.4.4.- Esquema geológico provisional de la Zona Aurífera del Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera y situación de las principales mineralizaciones. (El mapa original, a escala 1:10.000, se encuentra en el Volumen III (Planos) que acompaña a esta memoria.

Fig.5.1.- Esquema geológico general del área de La Codosera, Sección NE-SW transversal a las principales estructuras y estereogramas que muestran los polos de esquistosidad en un bloque no rotado y rotado.

Fig.5.2.- Oblicuidad entre estructuras y Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba. Disposición de estructuras compresivas y extensivas en Transpresión (Sanderson & Marchini 1984).

Fig.5.3.- Diagramas estructurales (Estratificación/Esquistosidad) en el Sector Sur del Sinclinal de La Codosera.

Fig.5.4/a.- Análisis sectorial de fallas tardihercínicas (Sector Occidental de La Portilla, Sector Central de Monteveijo y Sector Oriental de Chandavila). Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera.

Fig.5.4/b.- Análisis sectorial de venas auríferas (Sector Occidental de La Portilla, Sector Central de Monteveijo y Sector Oriental de Chandavila). Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera.

Fig.5.5.- Diagramas de Fallas (Sector Occidental-La Portilla-).

Fig.5.6.- Diagramas de Fallas (Sector Central-Monteveijo-).

Fig.5.7.- Diagramas de Fallas (Sector Este-Chandavila-).

Fig.5.8.- Diagramas de Fallas (con estrías). Sector Sur (Sinclinal de La Codosera).

Fig.5.9.- Diagramas de Fracturas. Sector Sur (Sinclinal de La Codosera).

Fig.5.10.- Diagramas de Fallas y Fracturas. Flanco Sur, Sinclinal de La Codosera.

Fig.5.11.- Diagramas de Venas de cuarzo auríferas en calicatas. Flanco Sur, Sinclinal de La Codosera.

Fig.5.12.- Diagramas de Venas de cuarzo auríferas en calicatas. Flanco Sur, Sinclinal de La Codosera.

Fig.5.13.- Esquema Geológico de Sector Central del Sinclinal de La Codosera. Situación de calicatas en donde se midieron venas mineralizadas.

Fig.5.14.- Diagrama general de venas auríferas. Sur del Sinclinal de La Codosera.

Fig.5.15.- Diagrama de Componentes de desplazamiento de fallas (Método de Angelier 1984) aplicado a 53 fallas del área de La Codosera.

Fig.5.16.- Diagrama de Diedros Rectos (PT). Sur del Sinclinal de La Codosera.

Fig.5.17.- Diagrama Y-R para fallas tardihercénicas del área de La Codosera.

Fig.5.18.- Trazado de una falla antitética NW-SE (330°) dextral, con movimiento de deslizamiento en dirección y con extensión. La Codosera (Sección Sur, Carretera a Portugal).

Fig.5.19.- Modelo en dominó (bookshelf) de fallas tardihercénicas del Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera, (según Sanderson, Roberts, Mc Gowan & Gumiel 1991).

Fig.5.20.- Dirección de fallas, Dirección de capas/distancia a lo largo de la Zona de Cizalla. Angulo de las fallas con la zona de cizalla/distancia, (según Mc Gowan 1991).

Fig.5.21.- Representación en el Círculo de Mohr del estado de esfuerzos en la roca, con la fracturación existente, (según Mc Gowan 1991).

Fig.5.22.- Mapa de lineamientos de La Codosera, basado en interpretación de Imágenes Landsat TM (según Sanderson et al 1990).

....

Fig.6.1.- Situación de los tipos de mineralizaciones de oro en el Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera.

Fig.6.2.- Modelo tridimensional idealizado de las estructuras mineralizadas del Flanco Sur del Sinclinal de La Codosera (Gumiel, 1991).

Fig.6.3.- Fibras de extensión en venas de cuarzo $N150^\circ$ y $N170^\circ E$ en cuarcitas. Sector Central de La Codosera.

Fig.6.4.- Fibras de extensión en venas de cuarzo $N20^\circ$, $N40^\circ$ y $N70^\circ E$ en cuarcitas y pizarras del Devónico. Algarbes-Portilla, La Codosera.

Fig.6.5/ 1.- Falla de extensión de dirección NE-SW en el indicio de oro de La Portilla Larga. Se observan brechificaciones locales en las venas desarrolladas en la falla. Sector Central, Monteviejo (La Codosera).

/2.- Varias generaciones de estrías (reactivaciones) en el plano de falla del indicio de La Portilla Larga, La Codosera.

/3.- Grietas sigmoidales en echelon rellenas de cuarzo, en fallas N40°E con movimiento sinistral. Sector Central, La Codosera.

Fig.6.6 / 1.- Zona de dilatación (en malla) en falla N50°E que constituye una zona de enriquecimiento (bolsada) con contenidos de oro superiores a 10 g/t. Indicio de La Perla de Anibal, La Codosera.

/2.- Zona de dilatación (dilatational jog). Modelo en "malla" o engranaje (Sibson 1985). Consiste en la unión de cizallas (S y A), junto con fracturas de extensión (E) para formar la zona de dilatación. Estas zonas son puntos de control en la iniciación y terminación de las rupturas en las fallas, como energía adicional necesaria para transferir deslizamiento entre fallas.

/3.- Cuarcitas con venas de cuarzo. Detalle de las venas a bajo ángulo con respecto al eje del sondeo (30N) desplazadas por las de alto ángulo (60N). Sondeo Codo-25, 47m de profundidad.

/4.- Pinnate veins (venillas en "cola de caballo") de dirección N20°E en falla N50°E. Sector Central, La Codosera.

Fig.6.7/ 1.- Venas ramificadas (branching veins) N20°E que acompañan a las venas auríferas principales N50°E. Indicio de La Perla de Anibal, La Codosera.

/2.- Aspecto macroscópico de brecha de falla (Crush-breccia) en el Sector Sur del Sinclinal de la Codosera.

/3.- Aspecto microscópico de brecha de falla-cataclasita, con fragmentos de cuarzo en matriz ferruginosa. Sondeo Codo-23 a 25m, La Codosera.

Fig.6.8/ 1.- Fibras de extensión en venas de cuarzo N150°E, en cuarcitas del Sector Central de La Codosera.

/2.- Paquetes de fibras conectados por fallas con deslizamiento continuo transformante (leaky transform faults) en venas N170°E con movimientos de cizalla y extensión. Sector Central, La Codosera.

/3.- Aspecto microscópico de las líneas de crack-seal en cristales de cuarzo, características de algunas venas del área de La Codosera. Sondeo Codo-30, a 32m de profundidad.

Fig. 6.9 /1.- Aspecto microscópico de venas formadas pro crecimiento antitaxial, nucleadas a partir del centro de la fisura, la cual aparece rellena por óxidos de hierro. Sondeo Codo-27, La Codosera.

/2.- Aspecto microscópico de los cristales estirados (stretched crystals) de algunas venas de cuarzo del área de La Codosera. Muestra de vena de cuarzo del área de Los Algarbes.

/3.- Aspecto microscópico de las colas de inclusiones características de las venas que han sido sometidas a mecanismos de crack-seal. Muestra de vena de cuarzo de Monteviejo.

Fig.6.10/ 1.- Detalle de la falla inversa, de bajo ángulo (thrust), de dirección N110°E en cuarcitas ferruginosas y pizarras del Devónico, en la Cª de Aliseda-Albuquerque.

/2.- Reactivaciones oblicuas de estructuras regionales. Detalle de las estrías longitudinales, subhorizontales (debajo del metro) en cuarcitas del Ordovícico Inferior (S³ de la Breña, La Codosera).

Fig.6.11/1.- Pliegue D2, de dirección E-W y pinchando 50°E, cuya asimetría y vergencia son congruentes con el movimiento sinistral de la cizalla de La Codosera. La mineralización de oro rellena la zona de charnela del pliegue, constituyendo un tipo saddle-reef. Montevejo, La Codosera.

/2.- Depósitos de debritas (Oligoceno ?) formados por cantos desordenados de cuarcitas y pizarras en matriz arcillosa, con mineralización de oro que constituye el tipo paleoplacer.

....

Fig.7.1.- Geoquímica de rocas en Calicatas del área de Montevejo. Situación de las calicatas.

Fig.7.2.- Geoquímica de Rocas en calicatas (Area de Montevejo, La Codosera). Mapa de Contornos (Equidistancia, Eq=0.1ppm Au).

Fig.7.3.- Geoquímica de Rocas en calicatas (Area de Montevejo, La Codosera). Mapa de Contornos (Equidistancia, Eq=0.1ppm Au). Método de interpolación por kriging.

Fig.7.4.- Variogramas para el método de interpolación por Kriging. 1) Geoquímica de rocas (Area de Montevejo). 2) Geoquímica de suelos (Area Oeste de La Portilla).

Tabla I.- Litogeoquímica de niveles especiales. 1) Muestras en Superficie. 2) Muestras de Sondeos.

Fig.7.5.- Histogramas de frecuencia de contenidos de Au, según litologías en desmuestres superficiales.

Fig.7.6.- Histogramas de frecuencia de contenidos de Au, según litologías en desmuestres en testigos de sondeos.

Fig.7.7.- Geoquímica de Suelos (Area Oeste de La Portilla, La Codosera). Mapa de Contornos. (Equidistancia, Eq=0.09ppm Au).

Fig.7.8.- Geoquímica de Suelos (Area Oeste de La Portilla, La Codosera). Mapa de Contornos. (Equidistancia, Eq=0.09ppm Au). Método de interpolación por Kriging.

....

Fig.8.1.- Log del Sondeo Codo-10 (ITGE). Coordenadas X=654373, Y=4340999, Cota=477m, dirección N30°W/20°. Cerro de Los Algarbes, La Codosera.

- Fig.8.2.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada)
Sondeo Codo-10 (La Codosera).**
- Fig.8.3.- Log del Sondeo Codo-24 (ITGE). Coordenadas X=652662, Y=4341665,
Cota=481m, dirección N55°E/30°. La Portilla Oeste, La Codosera.**
- Fig.8.4.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada)
Sondeo Codo-24 (La Codosera).**
- Fig.8.5.- Log del Sondeo Codo-27 (ITGE). Coordenadas X=654406, Y=4341115,
Cota=478m, dirección 355 /40°. Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.6.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada)
Sondeo Codo-27 (La Codosera).**
- Fig.8.6bis.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada)
Sondeo Codo-27bis (La Codosera).**
- Fig.8.7.- Log del Sondeo Codo-28 (ITGE). Coordenadas X=652613, Y=4341670,
Cota=477m, dirección N30°E/30°. La Portilla Oeste, La Codosera.**
- Fig.8.8.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada)
Sondeo Codo-28 (La Codosera).**
- Fig.8.9.- Log del Sondeo Codo-30 (ITGE). Coordenadas X=654467, Y=4341091.5,
Cota=490m dirección 360°/40°. Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.10.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada)
Sondeo Codo-30 (La Codosera).**
- Fig.8.11.- Log del Sondeo Codo-31 (ITGE). Coordenadas X=654265, Y=4341089,
Cota=463m dirección 030°/40° Oeste de Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.12.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada)
Sondeo Codo-31 (La Codosera).**
- Fig.8.13.- Log del Sondeo Codo-32 (ITGE). Coordenadas X=654434, Y=4341175,
Cota=481m dirección 090°/Vertical. Monteviejo, (saddle-reef), La Codosera .**
- Fig.8.14.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada)
Sondeo Codo-32 (La Codosera).**
- Fig.8.15.- Log del Sondeo Codo-33 (ITGE). Coordenadas X=654659, Y=4341062.5,
Cota=520m, dirección 015°/40°. Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.16.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada)
Sondeo Codo-33 (La Codosera).**

- Fig.8.17.- Log del Sondeo Codo-34 (ITGE). Coordenadas X=654734, Y=4341148, Cota=515m, dirección 020°/40°, Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.18.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-34 (La Codosera).**
- Fig.8.19.- Log del Sondeo Codo-35 (ITGE). Coordenadas X=654455, Y=4341174, Cota=483m, dirección 090°/Vertical. Monteviejo (saddle-reef), La Codosera.**
- Fig.8.20.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-35 (La Codosera).**
- Fig.8.21.- Log del Sondeo Codo-36 (ITGE). Coordenadas X=654371, Y=4341115.5, Cota=470m, dirección N6°W /30°. Oeste de Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.22.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeo Codo-36 (La Codosera).**
- Fig.8.23.- Log del Sondeo NG-5 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654686.5, Y=4341153, Cota=518m, dirección 002° /45°. Banda Norte, Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.24.- Log del Sondeo NG-7 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654703, Y=4341090, Cota=524m, dirección 027°/45°. Banda Sur, Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.25.- Log del Sondeo NG-8 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654606, Y=4341165, Cota=508m, dirección 009°/45°, Banda Norte, Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.26.- Log del Sondeo NG-9 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654780, Y=4341140, Cota=515m, dirección 005°/45°, Banda Norte, Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.27.- Log del Sondeo NG-10 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654336, Y=4341090, Cota=465m, dirección 360°/45°, Oeste Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.28.- Log del Sondeo NG-14 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654838, Y=4341110, Cota=498m, dirección 027°/45°, Banda Norte, Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.29.- Log del Sondeo NG-15 (Ingemisa-ITGE). Coordenadas X=654810, Y=4341070, Cota=518m, dirección 027°/45°, Banda Sur, Monteviejo, La Codosera.**
- Fig.8.30.- Log del Sondeo CN-1 (ITGE). Coordenadas X=655172, Y=4340536, Cota=427m, dirección 010°/40°, C³ Niña, Barrancones, La Codosera.**
- Fig.8.31.- Log del Sondeo CN-2 (ITGE). Coordenadas X=655112, Y=4340546, Cota=427m, dirección 010° /40°. C³ Niña, Barrancones, La Codosera.**
- Fig.8.32.- Histogramas de frecuencia y probabilidad (Frecuencia acumulada) Sondeos CN-1 y CN-2 (C³ Niña, Barrancones, Codosera).**

Fig.8.33.- Log del Sondeo CN-3 (ITGE). Coordenadas X=655056, Y=4340512, Cota=425m, dirección 010°/40°. C^a Niña, Barrancones, La Codosera.

Fig.8.34.- Log del Sondeo CN-4 (ITGE). Coordenadas X=655006, Y=4340528, Cota=427m, dirección 010°/40°. C^a Niña, Barrancones, La Codosera.

Fig.8.35.- Log del Sondeo CN-5 (ITGE). Coordenadas X=654920, Y=4340554, Cota=431m, dirección 010°/30°. C^a Niña, Barrancones, La Codosera.

Fig.8.36.- Primer Panel de correlaciones de sondeos.(Oeste de Monteviejo, La Codosera)

Fig.8.37.- Segundo Panel de correlaciones de sondeos.("Banda" mineralizada Norte de Monteviejo, La Codosera)

Fig.8.38.- Tercer Panel de correlaciones de sondeos.("Banda" mineralizada Sur de Monteviejo, La Codosera)

Fig.8.39.- Cuarto Panel de correlaciones de sondeos.(C^a de La Niña, Barrancones, La Codosera)

Fig.9.1.- Esquema Geológico del Sector Central del Sinclinal de La Codosera. Situación de calicatas en donde se midieron venas mineralizadas.

Fig.9.2.- 1.- Oro nativo en cuarzo filoniano. Los Algarbes, La Codosera

2.- Venas de cuarzo en cuarcita. Transversal de toma de datos (potencias de venas y análisis). Casa de la Niña, La Codosera.

3.- Venas a alto ángulo con respecto al eje del Sondeo (60°N) y perpendiculares a la estratificación. Sondeo Codo-27, La Codosera.

4.- Venas a bajo ángulo con respecto al eje del Sondeo (30°N) y perpendiculares a la estratificación. Sondeo NG-10, La Codosera.

Fig.9.3.- Gráficos log N/m log t, (N/m=número de venas por metro de testigo, t=potencia) de venas de alto ángulo (60°N) en los Sondeos; Codo-24, 25, 27 y 28. La correlación es muy buena entre 20 y 10mm de potencia de venas (círculos rellenos). Dimensión Fractal (D); D=0.97 en Codo-24, D=1.5 en Codo-25, D=1.1 en Codo-27 y D=1.35 en Codo-28.

Fig.9.4.- Análisis de venas en las calicatas 24 y 74 (Monteviejo, La Codosera)

Fig.9.5/a.- Análisis de venas en afloramientos (Casa de La Niña, La Codosera)

Fig.9.5/b.- Análisis de venas en afloramientos (Casa de La Niña, La Codosera)

Fig.9.6.- Distribución de potencia de venas e histogramas de espaciado. Afloramientos (Casa de La Niña, La Codosera).

Tabla II.- Número de venas medidas en 8 sondeos de La Codosera

Tabla III.- Relaciones de espaciado en La Codosera.

Fig.10.1/1.- Modelo esquemático de la formación de fallas antitéticas del Sur de La Codosera, según Sanderson et al., 1991. Comparación de la estructura de La Codosera con el área de San Gabriel Mtns (Dibblee, 1977) pero rotada para que tenga un sentido sinistral.

Fig.10.1/2.- Detalle de la geometría en "dominó" de las fallas antitéticas del Sur de La Codosera y situación de las mineralizaciones de oro en relación con ellas.

Fig.10.2.- Conectividad entre estructuras mineralizadas (fallas antitéticas y estructuras de segundo orden) con la Zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba.

Fig.10.3.- Zonas favorables para que se produzca una concentración mineral aurífera en el área de La Codosera

- a)
 - 1) en terminaciones de fallas antitéticas.
 - 2) en zonas de curvaturas o bruscos cambios de orientación (aprovechando irregularidades) .
- b)
 - 3) en "jogs" o zonas de dilatación, donde favorablemente se produce extensión
 - 4) en zonas de intersección de fallas antitéticas con otras de movimiento sintético
- c)
 - 5) En zonas de intersección de fallas en dirección, subparalelas a la dirección de la Cizalla Principal (aprox. E-W) y fallas de tipo antitético o sintético.
 - 6) en estructuras conectadas, de tipo pliegues D2 y fallas inversas.

Fig.10.4.- Secuencia esquemática de la evolución de un sistema de venas, desde a) grupos aislados de venas sin conexión y con distribución exponencial de longitud y potencia. b) Aumento de la dilatación y los grupos de venas se van conectando. c) grandes estructuras (venas) conectadas. d) Evolución de la distribución de espesores de las venas, asumiendo un incremento en la dilatación de aquellas que inicialmente son más potentes (>5mm). Vease discusión en el texto. Según Sanderson, Roberts & Gumiel (Econ.Geol.in litt.).

Fig.10.5 a.- Situación de sondeos en la zona Oeste de Monteviejo. Modelización numérica de la "Banda" mineralizada Oeste. (Monteviejo, La Codosera)
b.- Situación de sondeos en Monteviejo. Modelización de la "Banda" mineralizada Norte de Monteviejo (La Codosera).
c.- Situación de sondeos en Monteviejo. Modelización de la "Banda" mineralizada Sur de Monteviejo (La Codosera).

**Fig.10.6.- Modelización de la "Banda" mineralizada Oeste de Monteviejo
Sondeos NG-10, CODO-36, CODO-27/27bis y CODO-30
Contornos 1.8, 2, 3 y 3.5ppm Au/2m intervalo (La Codosera).**

Fig.10.7.- Mapas de Contornos en Secciones en las zonas mineralizadas ($E_q = 0.2\text{ppm Au}$) "Banda" Oeste, Monteviejo (Sondeos NG-10, CODO-36, CODO-27/27bis y CODO-30). Sección N-S en coordenada X=654400. Sección E-W en coordenada Y=4341130.

Fig.10.8.- Bloque-diagrama interpretativo de las estructuras mineralizadas y su entorno geológico. Estructura Oeste, Montevejo (Sondeos NG-10, CODO-36, CODO27/27bis y CODO-30).

Fig.10.9.- Modelización de la "Banda" Norte mineralizada de Montevejo. Sondeos NG-8, NG-5/5bis, CODO-34, NG-9 y NG-14. Contornos 1.5, 1.8, 2 y 3ppm Au/2m intervalo (La Codosera).

Fig.10.10.- Mapas de Contornos en Secciones en las zonas mineralizadas (Eq= 0.2ppm Au). "Banda" Norte, Montevejo (Sondeos NG-8, NG-5/5bis, CODO-34, NG-9 y NG-14) Sección N-S en coordenada X=654700. Sección E-W en coordenada Y=4341150.

Fig.10.11.- Bloque-diagrama interpretativo de las estructuras mineralizadas y su entorno geológico. Estructura Norte, Montevejo (Sondeos NG-8, NG-5/5bis, CODO-34, NG-9 y NG-14).

Fig.10.12.- Modelización de la "Banda" Sur mineralizada de Montevejo. Sondeos CODO-33, NG-7 y NG-15. Contornos 1.5, 1.8, 2 y 3ppm Au/2m intervalo (La Codosera).

Fig.10.13.- Mapas de Contornos en Secciones en las zonas mineralizadas (Eq= 0.2ppm Au). "Banda" Sur, Montevejo (Sondeos CODO-33, NG-7 y NG-15). Sección N-S en coordenada X=654800. Sección E-W en coordenada Y=4341090.

Fig.10.14.- Bloque-diagrama interpretativo de las estructuras mineralizadas y su entorno geológico. Estructura Sur, Montevejo (Sondeos CODO-33, NG-7 y NG-15).

Fig.10.15 a.- Situación de los sondeos CN-1, CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5 en el área de la Casa de La Niña-Barrancones.

b.- Modelización de las zonas mineralizadas de La C^a de La Niña-Barrancones Sondeos CN-1, CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5. Contornos 0.5, 1, 1.3 y 2ppm Au/2m intervalo (La Codosera).

Fig.10.16.- Mapas de Contornos en Secciones en las zonas mineralizadas (Eq= 0.1ppm Au). Area C^a de La Niña-Barrancones (Sondeos CN-1, CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5). Sección N-S en coordenadas X=655030 y X=655140. Sección E-W en coordenada Y=4340570

Fig.10.17.- Bloque-diagrama interpretativo de las estructuras mineralizadas y su entorno geológico. C^a de La Niña-Barrancones (Sondeos CN-1, CN-2, CN-3, CN-4 y CN-5).