

ISSN - 0120 - 1425



# BOLETIN GEOLOGICO

BARITA Y FLUORITA EN LA MESA DE LOS SANTOS Y PESCADERO, SANTANDER  
**Jurgen Willms**

MINERALIZACION DE Pb - Zn EN SEDIMENTITAS CRETACEAS DE LA CORDILLERA  
ORIENTAL. REGION DE MONTEGRO - SANTANDER  
**Hernando Mendoza Forero**

Volumen 31, Nos. 2-3 - pp. 1 - 59 1990  
Bogotá - Colombia  
ISSN - 0120 - 1425

**Bol. Geol.  
Ingeominas**

REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y  
QUIMICA

---

# BOLETIN GEOLOGICO

---

## CONTENIDO GENERAL

Página

|                      |                                                                                                                               |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Jurgen Willms</b> | Barita y fluorita en la Mesa de Los Santos y Pescadero,<br>Santander .....3 - 18                                              |
| <b>H. Mendoza F.</b> | Mineralización de Pb - Zn en sedimentitas cretáceas de<br>la Cordillera Oriental. Región de Montenegro, Santander.....19 - 59 |

Derechos reservados por:

**INGEOMINAS:** Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química.

Diagonal 53 No. 34-53, A. A. No. 4865.

Bogotá, D. E., Colombia S. A.

El Boletín Geológico se publica tres (3) números cada año.

Formato de publicación 17 x 24 cm

Editor:

**ALBERTO VILLEGAS BETANCOURT**

Geólogo

**Editado e impreso por INGEOMINAS**

**REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y  
QUIMICA**

**BARITA Y FLUORITA EN LA MESA DE LOS SANTOS Y  
PESCADERO, SANTANDER**

**Por:**

**JURGEN WILLMS**



# CONTENIDO

Página

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN.....</b>                              | <b>5</b>  |
| <b>1. INTRODUCCION.....</b>                      | <b>6</b>  |
| 1.1. LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO.....          | 6         |
| 1.2. TOPOGRAFIA, CLIMA Y VEGETACION.....         | 6         |
| 1.3. OBJETO Y METODO DE TRABAJO.....             | 6         |
| 1.4. RASGOS GEOLOGICOS.....                      | 6         |
| <b>2. DESCRIPCION DE LOS DEPOSITOS.....</b>      | <b>9</b>  |
| 2.1 FLUORITA.....                                | 9         |
| 2.1.1. CARRETERA CEPITA.....                     | 9         |
| 2.1.2. LOMAS DE VENTORRILLO.....                 | 9         |
| 2.1.3. EL MIRTO.....                             | 9         |
| 2.1.4. GENERALIZACIONES.....                     | 11        |
| 2.2. BARITA.....                                 | 11        |
| 2.2.1. QUEBRADA MONTELARGO.....                  | 11        |
| 2.2.2. QUEBRADA CHIVATERA.....                   | 12        |
| 2.2.3. QUEBRADA LAS NIGUAS.....                  | 13        |
| 2.2.4. OTROS.....                                | 13        |
| 2.2.5. GENERALIZACIONES.....                     | 13        |
| <b>3. ESTUDIOS TECTONICOS.....</b>               | <b>13</b> |
| 3.1. PESCADERO.....                              | 13        |
| 3.2. LOS SANTOS.....                             | 13        |
| <b>4. INVESTIGACIONES EN ROCA ENCAJANTE.....</b> | <b>16</b> |
| 4.1. GRANITO DE PESCADERO.....                   | 16        |
| 4.2. FORMACION ROSABLANCA.....                   | 16        |
| <b>5. CONCLUSIONES.....</b>                      | <b>17</b> |
| <b>6. RECOMENDACIONES.....</b>                   | <b>17</b> |
| <b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>                      | <b>18</b> |

## FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Localización áreas Proyecto Barita y Fluorita, Santander.....                                                                                                                                                 | 7  |
| 2. (A):Diagrama Rosa de fallas menores en el área estudiada. (B) Diagrama Rosa mostrando fallas y diaclasas en los alrededores del afloramiento carretera a Cepitá.....                                          | 8  |
| 3. (A): Diagrama Rosa de fracturas y diaclasas en las Lomas de Ventorrillo. (B): Diagrama Rosa mostrando la distribución de las estructuras (filones y diaclasas ) en El Mirto.....                              | 10 |
| 4. Diagrama Rosa mostrando fallas, mineralizaciones y diaclasas en la quebrada Montelargo.....                                                                                                                   | 12 |
| 5. Diagramas de contornos de fallas y diaclasas en los alrededores de Pescadero. Proyección estereográfica en el Hemisferio inferior.....                                                                        | 14 |
| 6. (A): Diagrama de contornos de fallas y diaclasas en el área de la Mesa de Los Santos - Las Juntas, Hemisferio inferior. (B): Diagrama rosa mostrando fallas menores en el área de Los Santos y Pescadero..... | 15 |

## PLANCHAS

|                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Mapa geológico del área estudiada y localización de mineralizaciones. (en bolsillo). |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|

## RESUMEN

En los alrededores de Pescadero se encuentran filones de fluorita asociados a las fases marginales porfiríticas del Granito de Pescadero. Filones de barita se encuentran comunmente cortando los sedimentos de los alrededores de la Mesa de Los Santos.

Un estudio de la roca encajante de los filones de fluorita (granito) nos muestra una alteración visible a lo largo de las estructuras mineralizadas (silicificación, sericitización). No se encontró ningún indicio de que el granito sea la fuente de la mineralización fluorítica. Al estudiar secciones delgadas de biomicritas colectadas en la Formación Rosablanca no se obtiene ningún indicio de preconcentración sedimentaria ni removilización diagenética de mineral de bario.

Se encontraron indicios que permiten pensar que la barita y la fluorita forman, en el área, parte de una misma asociación mineral.

El estudio tectónico de elementos estructurales a pequeña escala, nos muestra que las mineralizaciones están asociadas a fallas menores de rumbo con direcciones E-W y NW-SE.

## 1. INTRODUCCION

El programa de investigación sobre fluorita asociada al Granito de Pescadero y barita asociada a rocas sedimentarias en la Mesa de Los Santos tiene como objeto establecer los posibles procesos de la génesis de los yacimientos; con la ayuda de estos conceptos genéticos y dadas las condiciones climáticas y morfológicas de la región, desarrollar conceptos de prospección para estos minerales.

El programa se dividió en dos fases. En este informe se presenta el resultado de la primera fase, que corresponde casi exclusivamente a la información obtenida en el campo y estudio de secciones delgadas.

El escrito original elaborado por Jurgen Willms, fue revisado, completado, reorganizado y redactado por Rodrigo Vargas sin que la parte conceptual sufriera mayores modificaciones.

### 1.1. LOCALIZACION Y VIAS DE ACCESO

El estudio se realizó en un área de 50 km<sup>2</sup> separada en dos pequeñas zonas localizadas dentro de las planchas 120-I-D, 120-IV-C y 121-III-D al NE y NW de la población de Los Santos. La zona NE, alrededores de Pescadero, tiene una extensión de unos 35 km<sup>2</sup> y la zona NW, Mesa de Los Santos - Las Juntas, unos 15 km<sup>2</sup>.

Al área se llega desde Bucaramanga por carretera pavimentada (carretera Bucaramanga - Bogotá). En el sitio de Los Curos aparta un ramal, sin pavimentar, que conduce a Los Santos y posteriormente a la zona NW, Mesa de Los Santos - Las Juntas, por medio de los carretables a las minas de yeso El Toro y El Carrancho. A la zona NE se llega directamente por la carretera Bucaramanga - Bogotá. El ramal a Cepitá sirve de vía de penetración (Fig. 1).

### 1.2. TOPOGRAFIA, CLIMA Y VEGETACION

El área objeto de esta investigación se encuentra entre los 500 y 1.000 m de altura en el cañón de los ríos Chicamocha - Sogamoso y márgenes del río Manco que corresponden en general, a zonas de grandes escarpes en los cuales es difícil transitar. Predomina un clima cálido-árido con poca pluviosidad y altas temperaturas lo que trae como consecuencia que la vegetación sea de tipo semidesértico a desértico caracterizado por arbustos espinosos, cactus y ausencia de árboles maderables.

### 1.3. OBJETO Y METODO DE TRABAJO

El objetivo de este trabajo es establecer un concepto genético que sirva de guía en el desarrollo de la prospección, exploración y evaluación de yacimientos de barita y fluorita en la franja occidental de la Cordillera Oriental.

Con el fin de cumplir con este propósito se estudiaron manifestaciones de barita y fluorita conocidas en los alrededores de Las Juntas - Mesa de Los Santos y alrededores de Pescadero. Se recolectaron aproximadamente 100 muestras, se elaboraron y analizaron 50 secciones delgadas, se evaluaron 1.500 mediciones tectónicas en los filones y rocas encajantes del área. La fase de campo se desarrolló en 30 días y se utilizaron cartas topográficas escala 1:25.000 del IGAC., para orientación y localización de la información.

### 1.4. RASGOS GEOLOGICOS

El área estudiada está localizada dentro de una zona caracterizada por fallamiento de bloques con sentido inverso y direcciones N-S (Falla del Suárez) y NNE-SSW (Falla de Bucaramanga) (JULIVERT, 1970). Existen muchas fallas adicionales con movimientos menores y direcciones principalmente E-W (Figura 2-A).

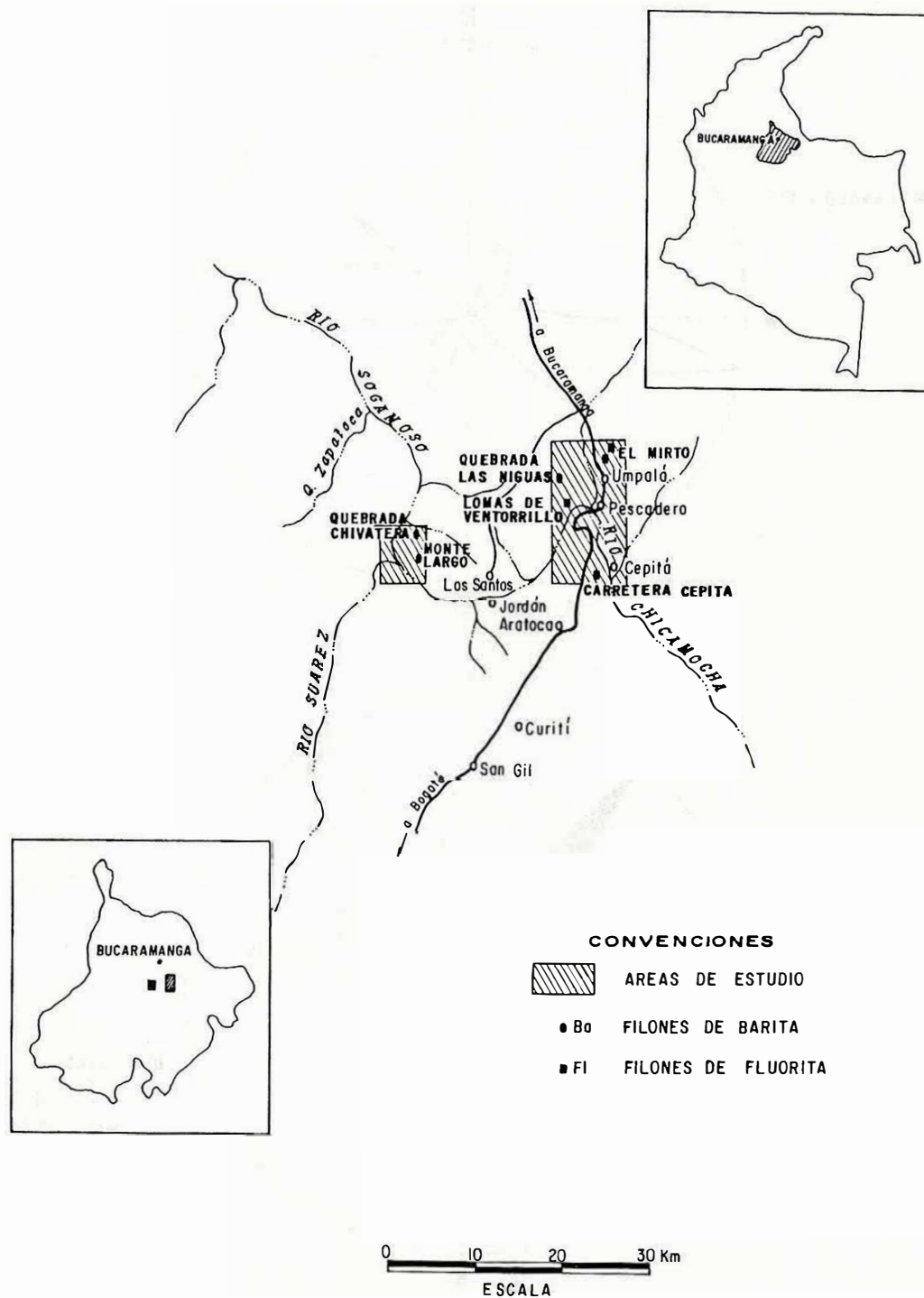


FIG.1: Localización áreas "Proyecto Barita y Fluorita, Santander"

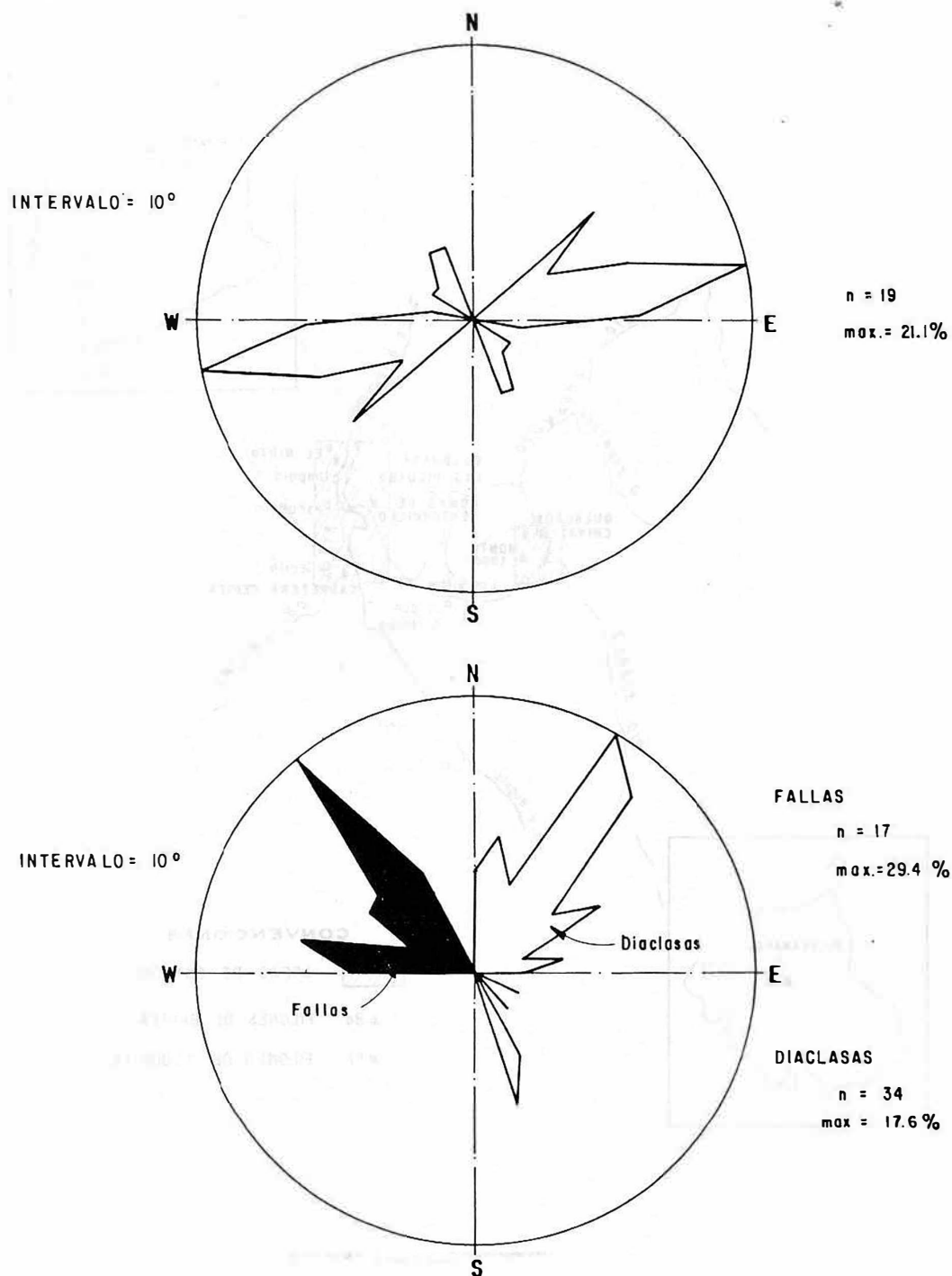


FIG. 2: (A): Diagrama Rosa de fallas menores en el área estudiada. (B): Diagrama Rosa mostrando fallas y diachasas en los alrededores del afloramiento carretera a Cepitá.

Las manifestaciones minerales se encuentran en una bifurcación tectónica, formada por la Falla de Bucaramanga al este y la Falla del Suárez al oeste; el bloque central está hundido en relación con ambos lados. En este bloque, el basamento ígneo (Granito de Pescadero) y metamórfico (esquistos del Silgará) está cubierto por capas sedimentarias jurásicas (Girón, Jordán) y cretácicas (Tambor, Rosablanca, La Paja) (WARD *et al*, 1973).

Mientras los filones de fluorita son conocidos únicamente en el Granito de Pescadero, los depósitos de barita se encuentran en sedimentos rojos (Girón, Los Montes), en el Granito de Pescadero (quebrada Niguas) y, en forma concentrada, en calizas de la Formación Rosablanca.

## 2. DESCRIPCION DE LOS DEPOSITOS

### 2.1. FLUORITA

#### 2.1.1. CARRETERA CEPITA (120-IV-D, Pl. I)

Inmediatamente encima de la carretera afloran dos filones de fluorita paralelos en una distancia horizontal de unos 50 m. Su extensión vertical es cerca de 30 m, mientras su espesor oscila entre 0,40 y 0,70 m (localmente más de 2 m). Uno de los filones se explota en forma rudimentaria y con una producción de unas pocas toneladas mensuales. El socavón tiene una extensión de 12 m.

Estos filones de fluorita se encuentran en la zona de contacto de una fase marginal del Granito de Pescadero y los esquistos del Silgará.

Como relleño de filones se presenta fluorita azul-pálida, violeta y gris con trazas de galena en intercrecimiento con cuarzo.

Como roca encajante se presenta una mezcla de restos o fragmentos de esquistos en una matriz granítica y diques de pórfido granítico. La roca está muy fracturada alrededor de los filones e inmediatamente alterada al lado de éstos. Dicha alteración está caracterizada por formación de sericita, reemplazando los feldespatos y numerosas venillas de cuarzo.

El mismo tipo de alteración acompaña a otras fallas alrededor del depósito cubiertas superficialmente con posibles productos de meteorización de los sulfuros, de color amarillo-verdoso.

Tectónicamente, los alrededores del depósito están caracterizados por microfallas de rumbo en sentido dextral (Figura 2-B).

#### 2.1.2. LOMAS DE VENTORRILLO (120-IV-D, Pl. I)

En este sitio se encuentra un filón cuyos afloramientos están muy tapados y derrumbados. El yacimiento fue explotado en años pasados, cuando según los informes de los campesinos, existió un socavón de 50 m de longitud.

La dirección del filón principal parece ser E-W; la distribución de diaclasas y fracturas la muestra la Figura 3-A.

El afloramiento está situado cerca al contacto con los esquistos del Silgará. Como roca encajante se presenta pórfido granítico. Inmediatamente alrededor del filón la roca está sericitizada y silicificada.

#### 2.1.3. EL MIRTO (121-III-C, Pl. I)

Cerca del km 48 de la carretera Bucaramanga - Bogotá, sobre la ladera W de la Cuchilla El Espino se encuentra localizado un sistema de filones de fluorita.

El mineral fue explotado cerca de la cima, pero debido a problemas de trans-

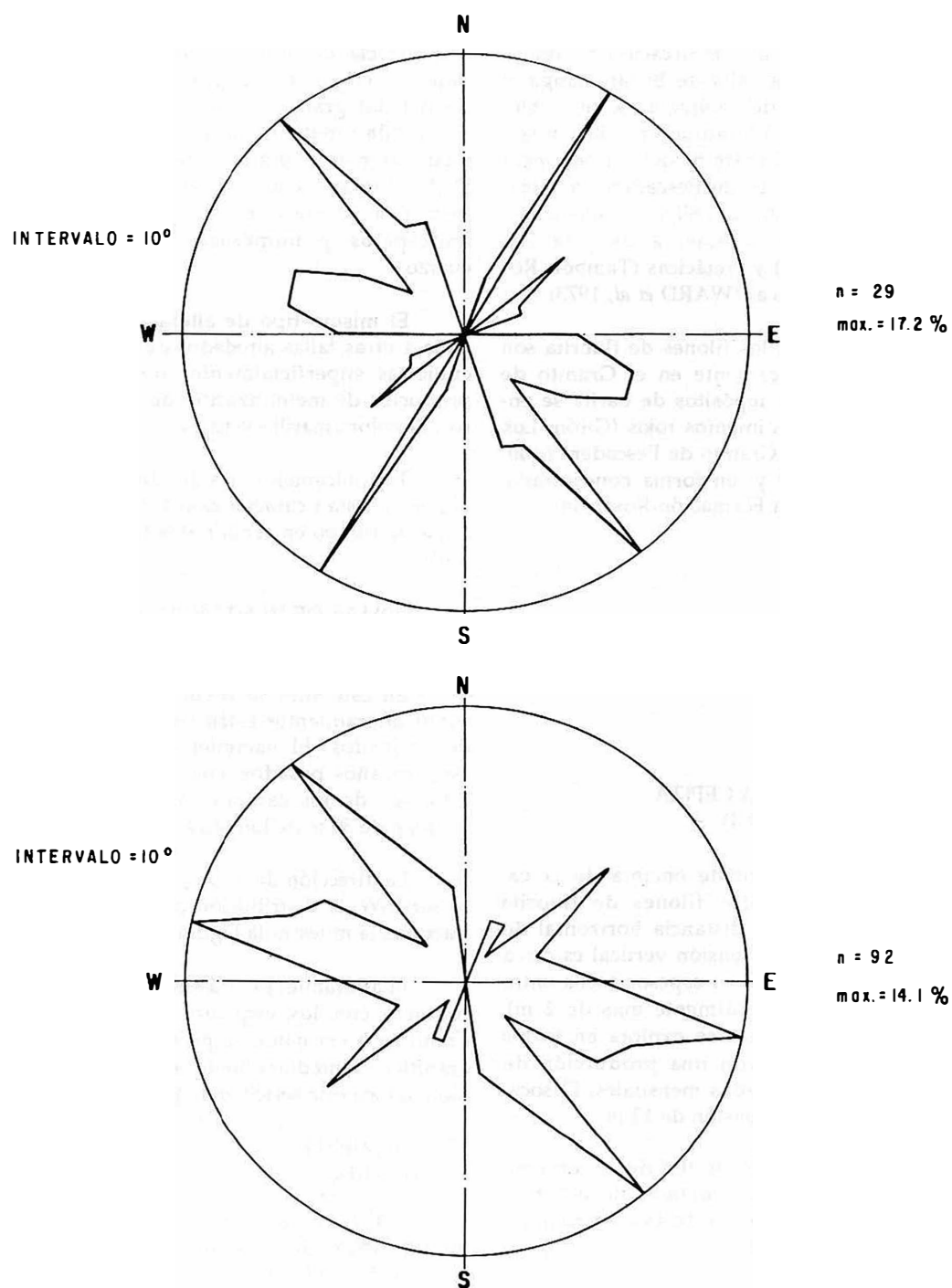


FIG. 3: (A): Diagrama Rosa de fracturas y diaclasas en las Lomas de Ventorrillo. (B): Diagrama Rosa mostrando la distribución de las estructuras (filones y diaclasas) en El Mirto.

porte se abandonó. Existe un hueco de unos 15 m de diámetro en donde no es posible hacer observaciones sobre la mineralización debido al estado caótico en que se encuentra.

Actualmente existe una pequeña explotación, unos 10 m arriba del lecho del río Manco, en donde fue posible obtener una idea más clara de la distribución especial de los filones. Estos son acumulaciones lenticulares, con un espesor máximo de 0,70 m y con direcciones que oscilan entre N80°W y N40°W, con buzamiento entre 40 y 90°N. La mineralización forma en relleno asimétrico, de espacios vacíos, de una secuencia variable de cuarzo, fluorita (30%) y galena (hasta 10%)

El mineral de la explotación más alta (topográficamente) parece ser más puro que el de la explotación actual.

En los alrededores de la zona mineralizada la roca encajante se encuentra afectada por un diaclasamiento intenso y junto con los filones presenta un color gris-verdoso de alteración (el color del pórfido granítico fresco es rosado). Las franjas alteradas alcanzan hasta 5 m de espesor y en ellas la roca pierde sus estructuras primarias. La distribución de estructuras se muestra en la Figura 3-B.

En la ladera occidental del valle del río Manco, que asciende hacia la Mesa de Los Santos, frente a El Mirto, no se continúan ni los filones ni la alteración correspondiente. Sin embargo, unos 500 m aguas abajo, en una quebrada, subiendo al oeste se encontraron trazas de un filón con fluorita.

#### 2.1.4. GENERALIZACIONES

Los depósitos de fluorita forman filones lenticulares de extensión limitada y tienen como roca encajante, generalmente, fases marginales porfídicas del Granito de Pescadero.

Las mineralizaciones se encuentran preferiblemente cerca al contacto del Granito de Pescadero con las rocas metamórficas del Silgará.

La fluorita se encuentra en intercrecimientos con cuarzo y galena; tan solo en la mina El Mirto se encuentra fluorita pura. Estructuralmente los filones coinciden con dos direcciones de un fallamiento regional, aproximadamente E-W y NW-SE.

Como indicador de la mineralización puede servir el color diferente que presenta la roca encajante debido a la alteración que ocurre a lo largo de grietas (sericitización e impregnaciones con cuarzo).

## 2.2. BARITA

### 2.2.1. QUEBRADA MONTELARGO (120-IV-C, Pl. I)

A este yacimiento, que es el único que muestra posibilidades de una explotación más tecnificada, se llega por un carreteable que conduce a la mina de yeso El Diviso.

Se trata de una serie de filones paralelos con direcciones que oscilan alrededor de E-W y buzamiento entre 70° y 90° al S y afloran en una área de unos 200 x 30 m con espesores de 0,70 a 1,10 m. Alcanzan hasta 6 m en un lugar en donde se ramifican (Figura 4).

La mineralización consiste en barita blanca, brechada y cementada por carbonato rojizo (presumiblemente siderita). Como sulfuro se presentan granos de calcopirita, parcialmente alterados a calcocina, hasta malaquita. Algunas grietas están rellenas por yeso.

El espesor de los filones de barita se disminuye hacia abajo y finalmente es reemplazada por calcita. Se registraron acumulaciones pequeñas de calcopirita y trazas de galena.



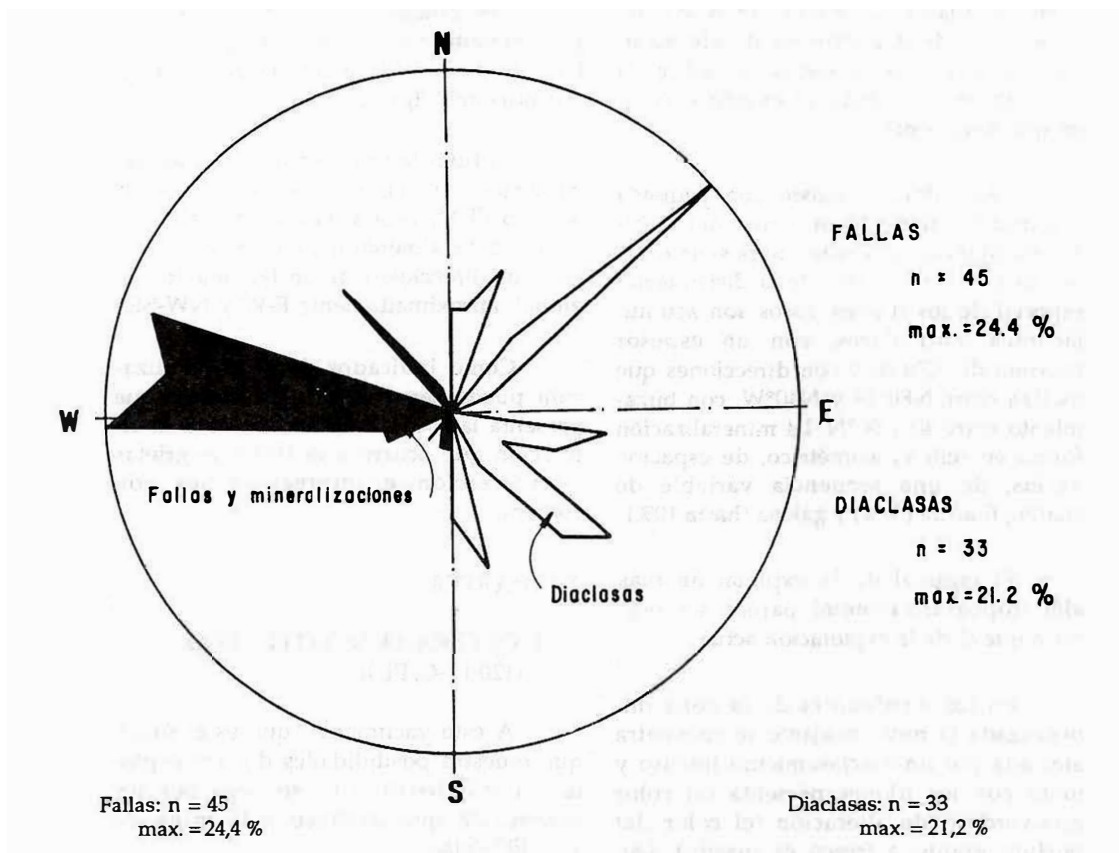


FIG. 4: Diagrama Rosa mostrando fallas, minealizaciones y diacclasas en la quebrada Montelargo.

Numerosos espejos de fallas con estrías más o menos horizontales señalan movimientos del rumbo antes y durante la mineralización. La zona del fallamiento se extiende hasta adentro del Cuaternario, indicando una edad Reciente de las actividades tectónicas.

Los afloramientos principales están cerca al techo de la Formación Rosablanca, parcialmente en contacto tectónico con la base de la Formación La Paja y cubiertos por depósitos cuaternarios

Durante un reconocimiento aguas abajo en la quebrada Montelargo se encontraron otros afloramientos de la misma zona mineralizada, entre una altura de 800 m (yacimiento principal) y hasta 560 m, donde la mineralización parece acabarse.

Con base en la extensión vertical y horizontal de los afloramientos, los cálculos de reservas hipotéticas rinden valores entre 400.000 y 600.000 toneladas de barita en una situación morfológica que es bastante favorable para la explotación minera.

#### 2.2.2. QUEBRADA CHIVATERA (120-IV-C, Pl. I)

Filón abandonado al cual se llega por un ramal del carretable a la mina de yeso El Carrancho.

La mineralización está localizada en calizas de la Formación Rosablanca en

una zona fallada con lineaciones horizontales y verticales, de las cuales las verticales son las más recientes.

Las dirección del filón es alrededor de N10°W, su espesor unos 0,70 m y la extensión de la mineralización parece ser limitada. El contenido mineralógico es idéntico al que muestra el depósito antes descrito (quebrada Montelargo).

#### 2.2.3. QUEBRADA LAS NIGUAS (120-IV-D, Pl. I)

Pequeña mineralización de barita en la ladera de la Mesa de Los Santos hacia Pescadero. Allí el Granito de Pescadero constituye la roca encajante, y en contraste a sus dimensiones insignificantes este depósito merece especial interés por la presencia de fluorita. El afloramiento por encontrarse totalmente cubierto en su estado actual no facilita medición de datos estructurales ni cálculo de reservas.

#### 2.2.4. OTROS

Finalmente, hay que mencionar otros depósitos que se hallan en las capas rojas del Sistema Jurásico (Jordán, Girón). Se visitaron dos (Los Montes, al oeste del Duende y Río de Oro, al sur de Girón). Sin embargo, el estado de los afloramientos no permite sacar conclusiones estructurales, porque únicamente se ven fragmentos sueltos del mineral en el suelo y los propios filones están cubiertos.

#### 2.2.5. GENERALIZACIONES

Con respecto a la barita es difícil obtener rasgos generales debido a su amplia distribución en diferentes tipos de roca encajante. Sin embargo, se muestra una concentración importante del mineral en los estratos cretácicos de la Formación Rosablanca. Los sedimentos rojos contienen algunos depósitos mientras el granito se muestra casi estéril. Dentro de los esquistos metamórficos (Silgará) no se observaron filones de fluorita ni de barita.

Las direcciones de los filones que se observan son E-W y NW-SE.

### 3. ESTUDIOS TECTONICOS

Los estudios tectónicos se efectuaron para investigar cuáles elementos estructurales sirvieron como espacio de la depositación del mineral. Para eso se estudiaron elementos estructurales en escala pequeña (microfallas, diaclasas) teniendo en cuenta también los rasgos regionales de la tectónica.

#### 3.1. PESCADERO

El Granito de Pescadero muestra una distribución radial de diaclasas, y un juego de diaclasas casi horizontales, que indican un basculamiento de unos 20° al oeste.

Sobrepuesto a esta distribución se encuentran los sistemas regionales más jóvenes, especialmente un juego de diaclasas con dirección NW-SE y E-W, como es netamente visible en la Figura 5.

El análisis de estructuras mineralizadas muestra la dependencia directa de éstas, con las direcciones de distribución regional, lo que indica una edad más joven para la mineralización que para la solidificación del granito.

#### 3.2. LOS SANTOS

La distribución de elementos estructurales es muy variable de un sitio al otro, indicando la dependencia de esas estructuras a la tectónica del basamento cristalino (JULIVERT, 1970).

La Figura 6-A muestra dos juegos conjugados (SW-NE/NW-SE y E-W/N-S) con importancia regional, que indican un basculamiento ligeramente al oeste. Es posible que los dos sistemas correspondan a las fallas principales, que forman el bloque Falla del Suárez - Falla de Bucara-

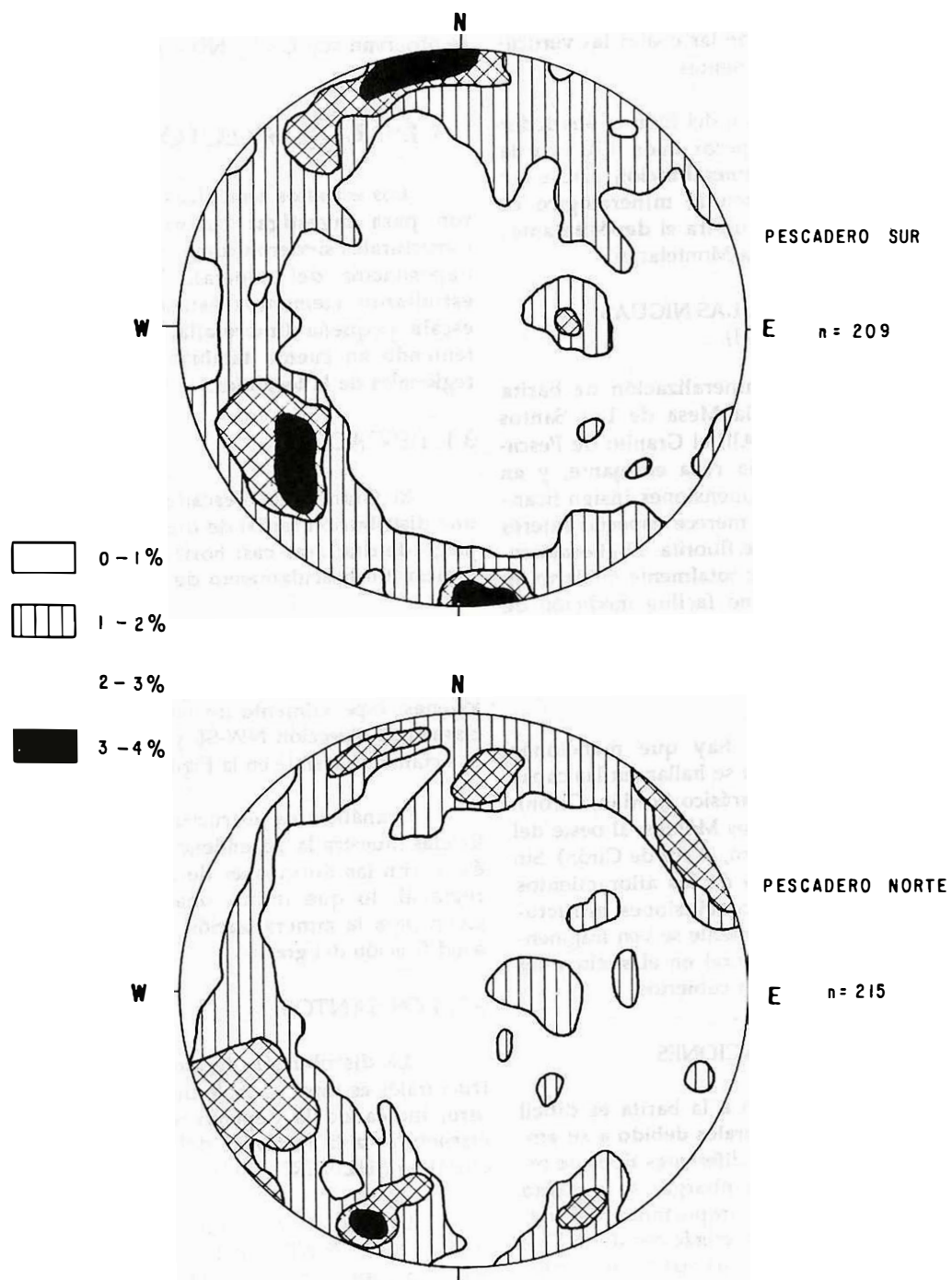


FIG. 5: Diagramas de contornos de fallas y diaclasas en los alrededores de Pescadero. Proyección estereográfica en el hemisferio inferior.

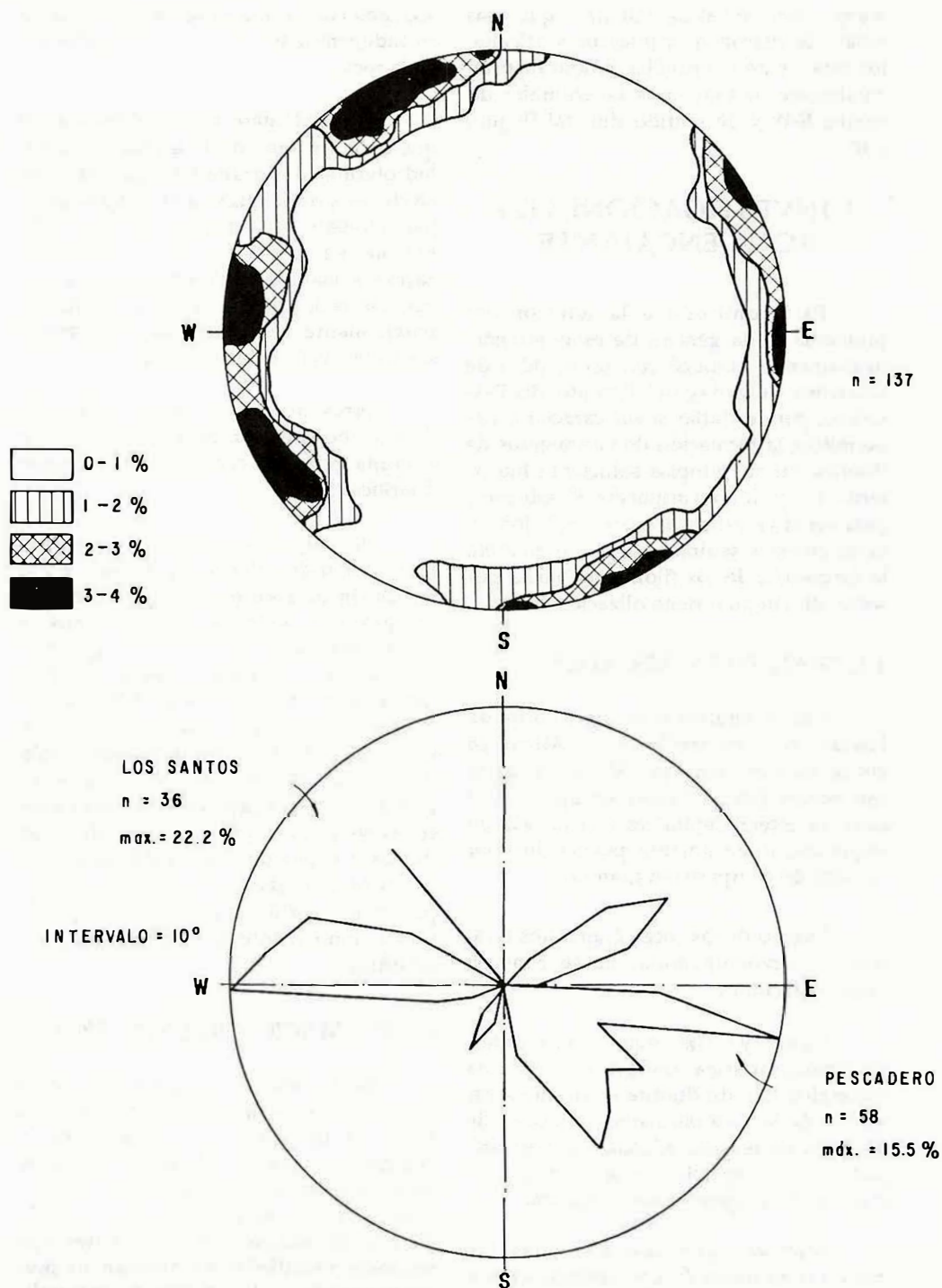


FIG. 6: (A): Diagrama de contornos de fallas y diaclasas en el área de la Mesa de Los Santos - Las Juntas. Hemisferio inferior. (B): Diagrama Rosa mostrando fallas menores en el área de Los Santos y Pescadero.

manga. Sin embargo, mientras que esas fallas efectuaron movimientos verticales, los espejos de microfallas muestran principalmente movimientos horizontales de rumbo E-W y de sentido sinistral (Figura 6-B).

#### 4. INVESTIGACIONES EN ROCA ENCAJANTE

Para contribuir a la solución del problema de la génesis de estas mineralizaciones se empezó con un estudio de secciones delgadas del Granito de Pescadero, para estudiar si sus características permitían la formación de yacimientos de fluorita por sus propias soluciones hidrotermales, y de la Formación Rosablanca, para ver si ya existía una concentración de bario en estos sedimentos, que permitiera la formación de los filones de barita por secreción lateral o removilización local.

##### 4.1. GRANITO DE PESCADERO

Las mineralizaciones de fluorita de Lomas de Ventorrillo y El Mirto se encuentran en fases porfídicas, en parte con textura fluidal; la roca encajante en el caso "carretera Cepitá" es una mezcla de esquistos, intensamente penetrados por venillas de composición granítica.

Dentro de las rocas granulares (granito - cuarzomonzonita) no se conocen mineralizaciones.

Como ya fue mencionado antes, una característica importante de esta mineralización de fluorita es la alteración visible de la roca encajante a lo largo de las estructuras mineralizadas. Las investigaciones petrográficas muestran que se trata de silicificación y sericitización.

Mientras que casi en todas las muestras se reconoce una sericitización o sausrutización ligera de la plagioclasa, preferiblemente en los centros de plagioclasa zonada, la alteración sericitica

asociada con la mineralización de fluorita es independiente de la textura primaria de la roca.

Especialmente hay que mencionar que en contraste con la alteración autohidrotermal del granito en general, que afecta en primer lugar a la plagioclasa y parcialmente a la biotita, la alteración hidrotermal asociada con la mineralización se manifiesta en forma de grietas y venillas rellenas con sericita, formando parcialmente redes densas y reemplazando los feldespatos potásicos.

Otros minerales secundarios (epidota, carbonato) son escasos y no tienen ninguna relación con la mineralización fluorítica.

No hay indicaciones de acción hidrotermal de soluciones, semejante a la formación de roca tipo greisen, conocida de granitos estaníferos asociados a contenidos altos de flúor en granitos (formación de topacio, cuarzo, fluorita, turmalina, reemplazando los feldespatos), ni tampoco texturas que indiquen contenido elevado de ácidos, como formación de cuarzo anterior a los feldespatos en granito. Además, aparentemente tampoco existen concentraciones de flúor en diques o venas de fases aplíticas o pegmatíticas asociadas con el granito. Por eso parece inverosímil que el granito pueda servir como fuente de la mineralización fluorítica.

##### 4.2. FORMACION ROSABLANCA

De las muestras recolectadas alrededor de los yacimientos de barita en la Mesa de Los Santos, se elaboraron y analizaron unas 15 secciones delgadas para estudiar la posibilidad de removilización del bario posiblemente ya existente en los sedimentos subyacentes. Las secciones estudiadas no indican ni pre-concentración sedimentaria ni removilización diagenética de mineral de bario. Hay que destacar que la cantidad restrin-

gida de secciones analizadas, no permite sacar conclusiones definitivas.

Se trata de biomicritas, parcialmente oolíticas y con intercalaciones arenosas. Mineral de bario no fue identificado en ninguna de las secciones.

## 5. CONCLUSIONES

1. Los depósitos de barita y fluorita están asociados al mismo tipo de estructuras de distribución regional. Se trata de fallas menores de rumbo con direcciones E-W y NW-SE, en parte dextral (Pescadero), en parte sinistral (Mesa de Los Santos).

2. La actividad tectónica de estas estructuras parece extenderse hasta el Cuaternario, como indican los afloramientos en la quebrada Montelargo.

3. Los resultados de investigaciones petrográficas no revelan la asociación de la fluorita al Granito de Pescadero ni la formación de la barita por procesos sedimentarios o diagenéticos en las capas cretáceas.

4. La ocurrencia de barita y fluorita en uno de los depósitos (quebrada Niguas) confirma la teoría de la formación asociada de estos minerales.

De los puntos anteriores se puede concluir que las estructuras tectónicas son responsables para la mineralización de barita y fluorita, formando caminos de circulación y espacios de depositación para las soluciones hidrotermales.

Se puede hacer una analogía con yacimientos semejantes en Europa Central y Septentrional, EE.UU. y Africa Oriental, en donde, fallas profundas formando estructuras tipo "Graben" (en nuestro caso, Falla del Suárez y Falla de Bucaramanga) pueden servir como camino de soluciones hidrotermales sin asociación visible con

cuerpos magmáticos, mientras los sitios de depositación están preferiblemente en fallas menores, más o menos perpendiculares (BAUMANN *et al*, 1975; VAN ALSTINE, 1976; NYAMBOK & GACIRI, 1975; WILLMS, 1980).

La depositación generalmente separada de los diferentes minerales podría depender de condiciones geoquímicas favorables (posiblemente reducción del carácter ácido de las soluciones por reacción con la roca encajante en lo que respecta a la fluorita y disponibilidad de sulfato refiriéndose a la barita).

Si esta teoría fuera correcta se presentarían buenas condiciones para la prospección de esos minerales a lo largo de las fallas mencionadas en el lado occidental de la Cordillera Oriental.

## 6. RECOMENDACIONES

De las mineralizaciones visitadas, únicamente el depósito de barita en la quebrada Montelargo de la Mesa de Los Santos muestra posibilidades de explotación económica. Los afloramientos justifican un estudio de factibilidad, empleando métodos geofísicos y perforaciones para establecer si las reservas y la calidad del mineral permiten la explotación rentable del yacimiento.

En general, se puede predecir un aumento en la demanda futura de barita, especialmente en lodos de perforaciones, mientras que por razones ambientales el gasto de fluorita probablemente será restringido (especialmente en la fundición de hierro se trata de reemplazar la fluorita por otras sustancias y en la fundición de aluminio se aumenta su recuperación).

Debido a lo abrupto del terreno, falta de suelos y la fuerte erosión en gran parte del área, el método indicado para la prospección de otros yacimientos sería la recolección de muestras de minerales pesados.



## 7. BIBLIOGRAFIA

- BAUMANN, L., LEEDER, O. & WEBER, W., 1975.- Beziehungen zwischen regionalen Bruchstrukturen und postmagmatischen Lagerstaetten und ihre Bedeutung fuer die Suche und Erkundung von Fluorit-Baryt-Lagerstaetten. *Z. Ang. Geol.*, 21: 6-17.
- JULIVERT, M., 1970.- Cover and basement tectonics in the Cordillera Oriental of Colombia, South America, and a comparison with some other folded chains. *Geol. Soc. of Am.* 81: 3623 - 3648.
- NYAMBOOK, I. O. & GACIRI, S. J., 1975.- Geology of the fluorite deposits in Keerio Valley, Kenya. *Econ. Geol.*, 70: 299-307.
- VAN ALSTINE, R.E., 1976.- Continental rifts and lineaments, associated with mayor fluorspar districts. *Econ. Geol.*, 71: 977-987.
- WARD, D.E. *et al*, 1970.- Recursos Minerales de parte de los departamentos de Norte de Santander y Santander. *Bol. Geol. INGEOMINAS*, XVIII (3).
- \_\_\_\_\_, 1973.- Geología de los cuadrángulos H-12 - Bucaramanga y H-13 - Pamplona, Departamento de Santander. *Bol. Geol. INGEOMINAS*, XXI (1-3).
- WILLMS, J., 1980.- Fluoritvorkommen in Telemark und im Oslogebiet (Suednorwegen): Produkte praekambrischen Magmatismus oder jungpalaeozoischer Plattentektonic? Dissertation Hamburg 1980.

REPUBLICA DE COLOMBIA  
MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN GEOCIENCIAS, MINERIA Y  
QUIMICA

MINERALIZACION DE Pb - Zn EN SEDIMENTITAS  
CRETACEAS  
DE LA CORDILLERA ORIENTAL.  
REGION DE MONTENEGRO (SANTANDER)

Por:

HERNANDO MENDOZA FORERO

1983



## CONTENIDO

|                                                                                                                   |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN.....</b>                                                                                               | <b>22</b> |
| <b>1. INTRODUCCION.....</b>                                                                                       | <b>23</b> |
| 1.1. LOCALIZACION - ACCESO.....                                                                                   | 23        |
| 1.2. TOPOGRAFIA - CLIMA.....                                                                                      | 25        |
| 1.3. GEOMORFOLOGIA-VEGETACION.....                                                                                | 25        |
| 1.4. ESTUDIOS ANTERIORES.....                                                                                     | 25        |
| 1.5. METODO DE TRABAJO.....                                                                                       | 25        |
| 1.6. AGRADECIMIENTOS.....                                                                                         | 26        |
| <b>2. GEOLOGIA.....</b>                                                                                           | <b>26</b> |
| 2.1. GEOLOGIA REGIONAL.....                                                                                       | 26        |
| 2.2. TECTONICA.....                                                                                               | 27        |
| <b>3. GEOLOGIA DE LA MINERALIZACION DE MONTENEGRO.....</b>                                                        | <b>29</b> |
| 3.1. SEDIMENTITAS DEL PALEOZOICO SUPERIOR (Pern).....                                                             | 29        |
| 3.2. SEDIMENTITAS DEL CRETACEO INFERIOR.....                                                                      | 29        |
| 3.2.1. FORMACION TIBU - MERCEDES (Kitm).....                                                                      | 29        |
| 3.3. DESARROLLO TECTONICO-ESTRUCTURAL.....                                                                        | 35        |
| 3.4. DESCRIPCION DEPOSITO MINERAL.....                                                                            | 35        |
| <b>4. PROSPECCION GEOQUIMICA.....</b>                                                                             | <b>40</b> |
| 4.1. SISTEMA DE MUESTREO Y ANALISIS.....                                                                          | 40        |
| 4.2. METODOS ESTADISTICOS.....                                                                                    | 40        |
| 4.2.1. PROCEDIMIENTO.....                                                                                         | 40        |
| 4.2.2. RESULTADOS GEOQUIMICOS.....                                                                                | 41        |
| <b>5. PROSPECCION GEOFISICA.....</b>                                                                              | <b>49</b> |
| 5.1. OBJETIVOS.....                                                                                               | 49        |
| 5.2. METODOLOGIA.....                                                                                             | 49        |
| 5.3. RESULTADOS.....                                                                                              | 49        |
| <b>6. EVALUACION AREAS ANOMALAS.....</b>                                                                          | <b>50</b> |
| 6.1. ANOMALIA DE MONTENEGRO.....                                                                                  | 51        |
| 6.2. ANOMALIA DE LOS VERDES.....                                                                                  | 51        |
| 6.3. ANOMALIA DE ALTO BRAVO.....                                                                                  | 53        |
| <b>7. VARIACION Y DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE ELEMENTOS<br/>EN LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE MONTENEGRO.....</b> | <b>53</b> |
| <b>8. ORIGEN DEL DEPOSITO.....</b>                                                                                | <b>54</b> |
| <b>9. CONCLUSIONES.....</b>                                                                                       | <b>55</b> |
| <b>10. RECOMENDACIONES.....</b>                                                                                   | <b>56</b> |
| <b>11. BIBLIOGRAFIA.....</b>                                                                                      | <b>58</b> |

## FIGURAS

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 1. Localización mineralización de Montenegro.....         | 24 |
| 2. Mapa geológico de la zona norte de García Rovira.....  | 28 |
| 3. Columna estratigráfica de la región de Montenegro..... | 31 |

|     |                                                                                                                                                         |    |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.  | Sección estratigráfica miembros arenoso basal y calcáreo - arenoso inferior. Relación litología vs contenido elementos Sección (I) Filo Alto Bravo..... | 32 |
| 5.  | Sección estratigráfica Miembro areno-lodoso ligeramente calcáreo. Relación litología vs contenido elementos Sección (II) Los Verdes.....                | 33 |
| 6.  | Sección estratigráfica miembro areno-lodoso superior. Relación litología vs contenido de elementos Sección (III) Montenegro.....                        | 34 |
| 7.  | Sección estratigráfica miembro areno-calcáreo superior. Relación litológica vs contenido elementos Sección (IV) Loma Redonda.....                       | 36 |
| 8.  | Corte geológico esquematizado entre las localidades de Málaga y Río Sartaneja .....                                                                     | 37 |
| 9.  | Corte geológico mineralización de Montenegro.....                                                                                                       | 39 |
| 10. | Histogramas de distribución de Pb, V, Mn y Zn en arenitas de la Formación Tibú - Mercedes. Análisis espectrográfico.....                                | 42 |
| 11. | Histogramas de distribución de Pb, V, Mn y Zn en arenitas + calizas de la Formación Tibú - Mercedes. Análisis espectrográfico.....                      | 43 |
| 12. | Distribución de frecuencia acumulada para Pb en arenitas.....                                                                                           | 44 |
| 13. | Distribución de frecuencia acumulada para Zn en arenitas.....                                                                                           | 46 |
| 14. | Distribución de frecuencia acumulada para Pb y Zn. Litología: arenita + caliza.....                                                                     | 47 |
| 15. | Distribución de frecuencia acumulada para V y Mn. Litología: arenita + caliza.....                                                                      | 48 |

## TABLAS

|    |                                                                |    |
|----|----------------------------------------------------------------|----|
| 1. | Relación litología vs contenido elementos mina Montenegro..... | 52 |
|----|----------------------------------------------------------------|----|

## PLANCHAS (En bolsillo)

|    |                                                                                                    |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. | Esquema geológico y tectónico-estructural de la Provincia de García Rovira.                        |
| 2. | Mapa geológico del área de Montenegro                                                              |
| 3. | Mapa de distribución de Plomo - Zinc en el área de Montenegro.                                     |
| 4. | Mapa de distribución de Vanadio - Manganeso en el área de Montenegro.                              |
| 5. | Mapa de áreas anómalas para Pb - Zn - V - Mn - en el área de Montenegro (Análisis Espectrográfico) |

## RESUMEN

La región objeto de este estudio se localiza al extremo sur central del Macizo de Santander, Cordillera Oriental de Colombia. En una secuencia de sedimentitas del Cretáceo inferior y en posición concordante con la dirección de los estratos, se encuentra un horizonte de 2,4 m de espesor que contiene minerales de Pb y Zn; galena y esfalerita principalmente. Los sulfuros se presentan en forma de lentes, venas y disseminación en capas de arenitas, lodolitas y caliza dolomitizada. El material de ganga está representado por calcita, cuarzo, dolomita y pirita.

En un área de 2,5 km de longitud y 500 m de ancho, se delimita una franja orientada en dirección NNW-SSE, en la cual se reconocen tres zonas con valores anómalos, principalmente en Pb, Zn, V y Mn, además de valores relativamente altos en Fe y F.

La mineralización de Montenegro y las zonas con anomalías geoquímicas y geofísicas, se localizan en 300 m de la secuencia cretácea. Algunos de los rasgos geológicos reconocidos en el área de Montenegro, corresponden con los descritos en depósitos de metales base tipo Mississippi Valley.

*"I believe, it is about time in 1971 to go back to Descartes and to ask if many of the deposits which occur in Sedimentary rocks are not the results of exogenous processes. Sedimentology gave the start, and economic geology follows its example in a way which now appears irreversible".*

*A. J. Bernard (Ores in Sediments 1971, p. 6).*

## 1. INTRODUCCION

Las mineralizaciones de metales base en secuencias sedimentarias del Cretáceo de la Cordillera Oriental y su asociación con determinados niveles litológicos, superficies de discordancia, cambios de facies etc, constituyen evidencia suficiente para que se investigue el tipo de circunstancias especiales (físicas-químicas-biológicas) que podrían llegar a facilitar la formación de un depósito económico de Pb-Zn en ambientes sedimentarios del nor-orientes colombiano.

En 1979 el INGEOMINAS inicia un programa de exploración de minerales metálicos en diferentes sectores de la Cordillera Oriental. Luego de un reconocimiento preliminar efectuado en la región de García Rovira, se seleccionó el área de Montenegro, como una de las zonas más interesantes para estudiar mineralizaciones de Pb-Zn en sedimentitas del Cretáceo.

El trabajo en su fase inicial se dirigió al análisis de la secuencia litológica del área, mediante la utilización de las técnicas de prospección geoquímica y geofísica con el análisis estratigráfico, metodología que se consideró apropiada para orientar la búsqueda de metales base en ambientes sedimentarios sometidos a condiciones de un medio tropical. Uno de los objetivos, era el de involucrar el concepto sedimentario en la exploración mineral y tratar de obtener información acerca de los elementos metálicos y su posible relación con los productos de la sedimentación.

### 1.1. LOCALIZACION - ACCESO

La región de Montenegro (municipio de Concepción) se localiza al extremo SE del Departamento de Santander y hace parte de la plancha topográfica 136-II-A del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000 (Figura 1). La mineralización de Pb-Zn está situada a 3.200 m sobre el nivel del mar y tiene por coordenadas planas X : 1'159.300 Y: 1'235.950 proyección conforme de Gauss, con Bogotá como punto de origen (X:1'000.000N, Y: 1'000.000E). Por carretera, el área de estudio dista aproximadamente 350 km de Bogotá, 150 km de Bucaramanga y 200 km de Cúcuta.

Al área de trabajo se llega por la carretera que de Bucaramanga conduce a Bogotá hasta encontrar el sitio de Los Curos, donde se continúa en dirección SE por una carretera sin pavimentar y en regular estado de conservación hasta las localidad de Málaga y la población de Concepción. Luego de un corto trecho por un carretable hasta el sitio de Loma Chiquita, se continúa por camino de herradura que finalmente conduce a la quebrada Caja de Agua, sitio de la mineralización.

La provincia de García Rovira tiene como centro de sus operaciones comerciales a la población de Málaga, que cuenta con cerca de 20.000 habitantes y está comunicada por carretera con centros urbanos más pequeños como Capitanejo, San José de Miranda, Concepción y Cerrito.

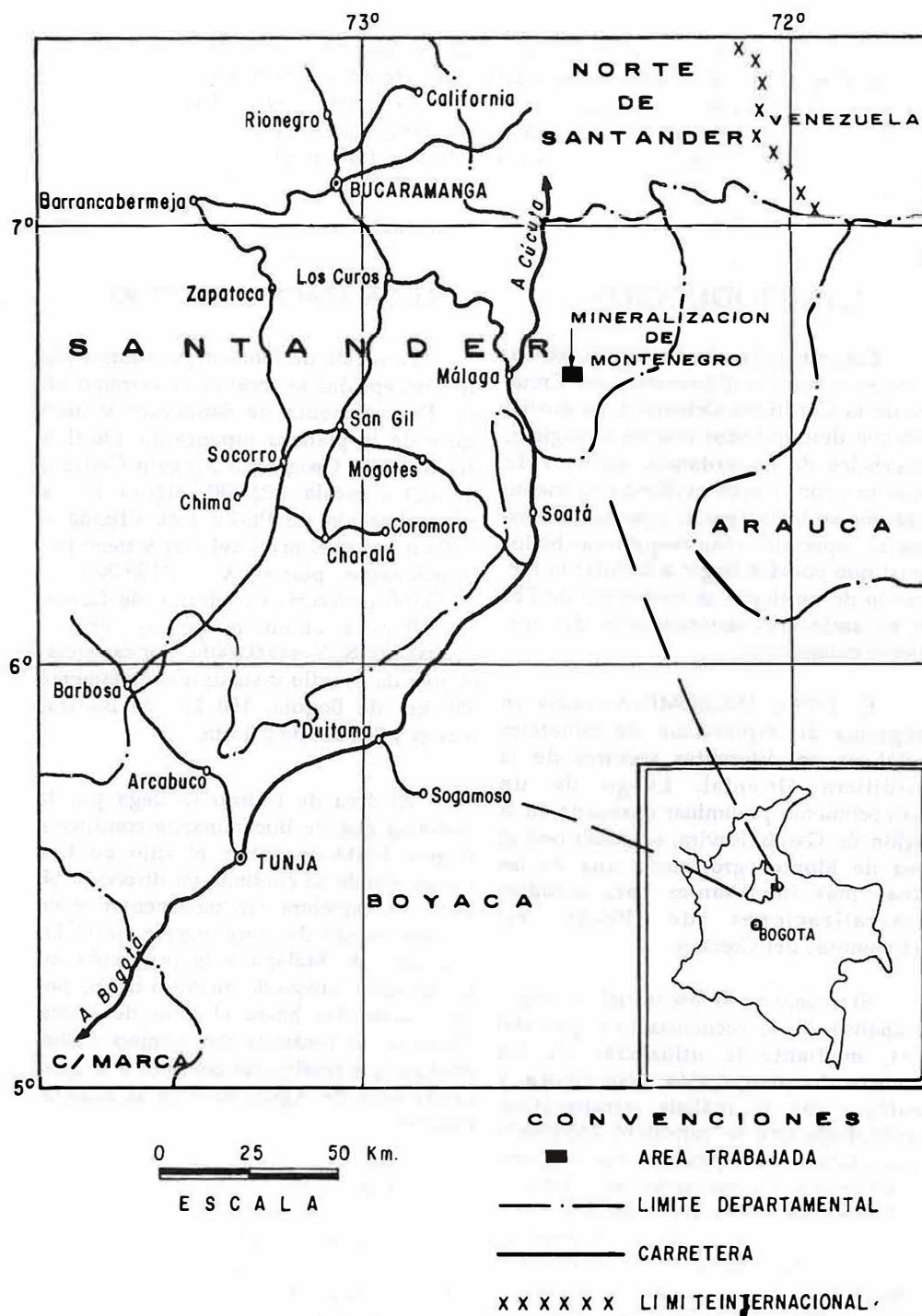


FIG. 1: Localización mineralización de Montenegro.

## 1.2. TOPOGRAFIA - CLIMA

Un relieve abrupto y terrenos que en promedio alcanzan pendientes superiores al 20%, son rasgos característicos en la región de Montenegro.

En la región predomina el piso térmico frío, acompañado de un sistema de lluvias, en gran parte controlado por la topografía y factores micro-climáticos. La temperatura promedio fluctúa entre 6° y 10°C y la pluviosidad media alcanza los 2.000 mm anuales, siendo los períodos de abril - junio y septiembre - noviembre los más húmedos.

## 1.3. GEOMORFOLOGIA- VEGETACION

Localmente la topografía del área refleja un desarrollo geomorfológico a partir de masas de rocas que fueron removidas y desplazadas hasta sitios que ofrecieron más estabilidad. La red hidrográfica está constituida por caños y pequeños chorros que conforman la quebrada Jaimito cuyas aguas avanzan de este a oeste hasta desembocar en el cauce del río Servitá. Durante los períodos con aguaceros torrenciales, suelen desarrollarse altas escorrentías a veces acompañadas por deslizamientos o por erosión remontante con socavamiento en las paredes de los canales.

En la mayor parte del área predomina una vegetación herbácea, con arbustos y en menor proporción árboles mayores. En los alrededores de la mineralización, el terreno se encuentra cubierto por pastos y está destinado al cultivo de papa y cebolla. Los habitantes de la región usualmente se ocupan en labores agrícolas y en la cría de ovejas.

## 1.4. ESTUDIOS ANTERIORES

La mineralización de Montenegro inicialmente fue reconocida en visitas o exploraciones rápidas efectuadas por geólogos de INGEOMINAS, acompañados en algunas oportunidades por asesores americanos. Ward *et al*, 1970 en un intento por seguir un horizonte mineralizado realizaron un muestreo de suelo; los resultados negativos para Pb - Zn, en once muestras analizadas, fue uno de los criterios para estimar que la mineralización carecía de interés económico.

El estudio geoquímico realizado por Jaramillo y Téllez (1972), al suroeste de Montenegro (área de Tipacoque), confirmó la presencia de zonas anómalas para Pb-Zn en una región donde las mineralizaciones están asociadas a sistemas de fracturas. Julivert (1960) y Vargas *et al*. (1976) describen aspectos relacionados con la geología regional de la Plancha 136 - Málaga, anteriormente referida como Cuadrángulo I-13\*. De los estudios mencionados sólo el de Jaramillo y Téllez (1972) tenía como objeto la prospección de Pb-Zn en rocas sedimentarias.

Una vez seleccionada la Provincia de García Rovira como área blanco, por sus características de localización geográfica, accesibilidad, ambiente geológico favorable, con, fuerte intersección tectónica, actividad magmática durante el Paleozoico y Mesozoico, mineralizaciones de Pb-Zn en sedimentitas y existencia de secuencias sedimentarias con facies de carbonatos y evaporitas, se procedió a la elaboración de un programa de exploración preliminar.

## 1.5. METODO DE TRABAJO

En el reconocimiento inicial del área se utilizó la plancha topográfica 136-II-A escala 1:25.000 que luego fue ampliada a escala 1:10.000, para facilitar la delimitación y recopilación de los datos geológicos y geoquímicos. La información presentada en este trabajo corresponde a las actividades que el autor desarrolló en 25 días de

\*De acuerdo a la nueva nomenclatura señalada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), el cuadrángulo I-13 fue dividido en dos planchas: 136 y 152.

campo, repartidos en tres visitas realizadas en el período de mayo 29 a octubre 25 de 1979.

Luego de efectuada la compilación bibliográfica tanto local como regional y teniendo en cuenta que la prospección de depósitos minerales en el ambiente sedimentario tiene sus propias peculiaridades, se procedió a rastrear los cambios geoquímicos en cada una de las unidades litológicas de la secuencia cretácea de Montenegro. Inicialmente se levantaron secciones columnares, las que además de facilitar la integración de una parte de la columna estratigráfica del área, se utilizaron como base para un muestreo litogeoquímico. Los datos geológicos y los resultados de los análisis de muestras corresponden a información obtenida sobre afloramientos en los filos, escarpes y caminos que cruzan la región.

Sobre un área de aproximadamente 2 km<sup>2</sup> se colectaron 178 muestras de roca sedimentaria, cuatro muestras de sedimento y dos de suelo. De este total solo se consideraron para análisis espectrográfico las siguientes muestras: 68 de roca, cuatro de sedimentos, una de fragmentos de galena y una de fragmentos de esfalerita. Por absorción atómica únicamente fueron analizadas 32 muestras de roca.

La distribución e interpretación de los primeros resultados de los análisis, demostró la necesidad de emprender estudios estratigráficos detallados en el área a fin de contar con evidencias que permitieran deducir si la presencia de sulfuros en los sedimentos, obedece más a procesos endógenos que exógenos. A partir de julio de 1980 el autor participó en un programa de entrenamiento estratigráfico, Proyecto Cretácico (Convenio INGEOMINAS - Universidad Nacional, Bogotá).

## 1.6. AGRADECIMIENTOS

Sin la colaboración y el apoyo ofrecido por los geólogos Luis Jaramillo y Jairo Vesga no hubiera sido posible realizar este

trabajo. A las anteriores Directivas del INGEOMINAS, Dr. Michel Hermelin, Director General, Carlos Jairo Vesga y Francisco Zambrano, Subdirectores de Asuntos Regionales y de Investigaciones Geológicas respectivamente, se les agradece su interés y colaboración. Los comentarios críticos y discusiones con los geólogos Ricardo Escovar, Luis Jaramillo, Pedro Marín, Carlos Ulloa y Joaquín Buenaventura permitieron orientar la investigación de campo. Al geólogo Rodrigo Vargas se le agradece la lectura y comentarios al manuscrito. También mi reconocimiento de gratitud al personal de la Subdirección de Investigaciones Químicas por los análisis químicos efectuados.

Los resultados y conclusiones alcanzados para la mineralización de Montenegro, demuestran la existencia de un potencial para este tipo de recurso mineral y se espera, al menos, despertar el interés hacia programas de exploración en ambientes geológicos que como el sedimentario poca atención han recibido hasta el presente.

## 2. GEOLOGIA

La región de Montenegro hace parte de la Provincia de García Rovira, la cual se localiza hacia el sur del Macizo de Santander. Como accidente geomorfológico, el Macizo de Santander constituye un rasgo saliente de la Cordillera Oriental, separando la cuenca del Valle Medio del Magdalena de la cuenca del Lago de Maracaibo.

### 2.1. GEOLOGIA REGIONAL

Geológicamente el Macizo de Santander se muestra como gran protuberancia de zócalo ígneo-metamórfico, con rasgos tectónico-estructurales que lo diferencian de otros macizos de la Cordillera Oriental. En el sector de García Rovira se registran dos accidentes geotectónicos de importancia para el desarrollo geológico



de la región; son los sistemas de Falla de Bucaramanga y Falla de Servitá, rasgos que permiten delimitar tres provincias geológicas, diferenciables entre sí.

Una provincia occidental, con predominio de cuerpos ígneos y rocas metamórficas del Precámbrico y Paleozoico inferior. Una central, con remanentes de rocas metamórficas inferiores y predominio de sedimentitas del Jurásico y Cretáceo. Una provincia oriental, donde las rocas más antiguas corresponden a afloramientos con sedimentitas del Paleozoico superior destacándose el predominio de sedimentitas del Cretáceo y Terciario, en contraste con la no presencia de rocas del Jurásico. La mineralización de Pb-Zn de Montenegro (Figura 2) se encuentra en los dominios de la Provincia Oriental.

## 2.2. TECTONICA

El extremo sur del Macizo de Santander corresponde a la zona donde la Cordillera Oriental cambia de dirección SW-NE a SE-NW, abriéndose en dos ramales, uno que continúa hacia el NNW (Serranía de Perijá) y el otro hacia el ENE (Andes de Venezuela). Además es la región donde se registra la convergencia de los sistemas de Falla de Bucaramanga - Falla de Soápara y Falla de Servitá. En dirección sur y a partir de los 7° latitud norte, y hacia el E y SE del sistema de Falla de Bucaramanga, la región de García Rovira se caracteriza por presentar una extensa cobertura de sedimentitas mesozoicas, y a diferencia del Macizo de Santander, registra un desarrollo tectónico estructural con formación de pliegues - falla y una serie de estructuras imbricadas asociadas.

Con base en la cartografía geológica existente (VARGAS *et al*, 1976) se puede deducir un ciclo geotectónico importante, principalmente en el Oligoceno - Mioceno, cuando parece que actuaron dos fases compresivas; una inicial con dirección W-E, que dio como resultado los sistemas de fallas de sobrecorrimiento (Fallas de Ser-

vitá y Aguas Claras), la inversión de los estratos del flanco W del Sinclinal de Servitá y el desarrollo de estructuras orientadas principalmente en dirección N-S y SW-NE. La segunda fase que siguió a un período de distensión, tendría relación con esfuerzos que actuaron en dirección NE-SW y están representados en la falla de sobrecorrimiento de Enciso E, la inversión de las capas del flanco oriental del sinclinal de Servitá y el desarrollo de estructuras con dirección NW-SE, algunas de ellas apretadas, como por ejemplo las estructuras que aparecen en el área de Montenegro (Plancha 1).

Avanzando de norte a sur se observa un cambio gradual en la orientación de las estructuras, en el caso del bloque occidental del valle del río Servitá, donde la orientación cambia de NNW-SSE a N-S y NNE-SSW. Al occidente de la Falla de Servitá, aparece el bloque tectónico de Málaga, en el que se reconocen una estructura anticlinal con dirección NW-SE y un sinclinal NNE-SSW asimétrico y cortado por la Falla de Servitá. De Enciso hacia el sur, el valle del río Servitá corresponde al núcleo de una estructura sinclinal asimétrica y fallada cerca a su eje (Falla de Enciso W). El flanco W de este sinclinal, se presenta invertido y es cortado transversalmente por la Falla de Servitá, mientras que el flanco E contiene repliegues menores, estructuras imbricadas en dirección NW-SE y es cortado transversalmente por la Falla de Enciso E.

Al NNE de Enciso aparece un amplio sinclinal asimétrico, cuyo eje gradualmente pasa de dirección N-S a NW-SE y en su flanco W es cortado por el sistema de Fallas de Servitá y Enciso. Hacia el sector oriental (áreas de Montenegro y Carcasí) se alcanzan elevaciones cercanas a los 4.000 m, y se encuentran las siguientes estructuras: la falla inversa de Aguas Claras afectada por el sistema de Falla de Carcasí y Falla Río Tunebo, sistema que a su vez corta pliegues orientados al NW-SE.



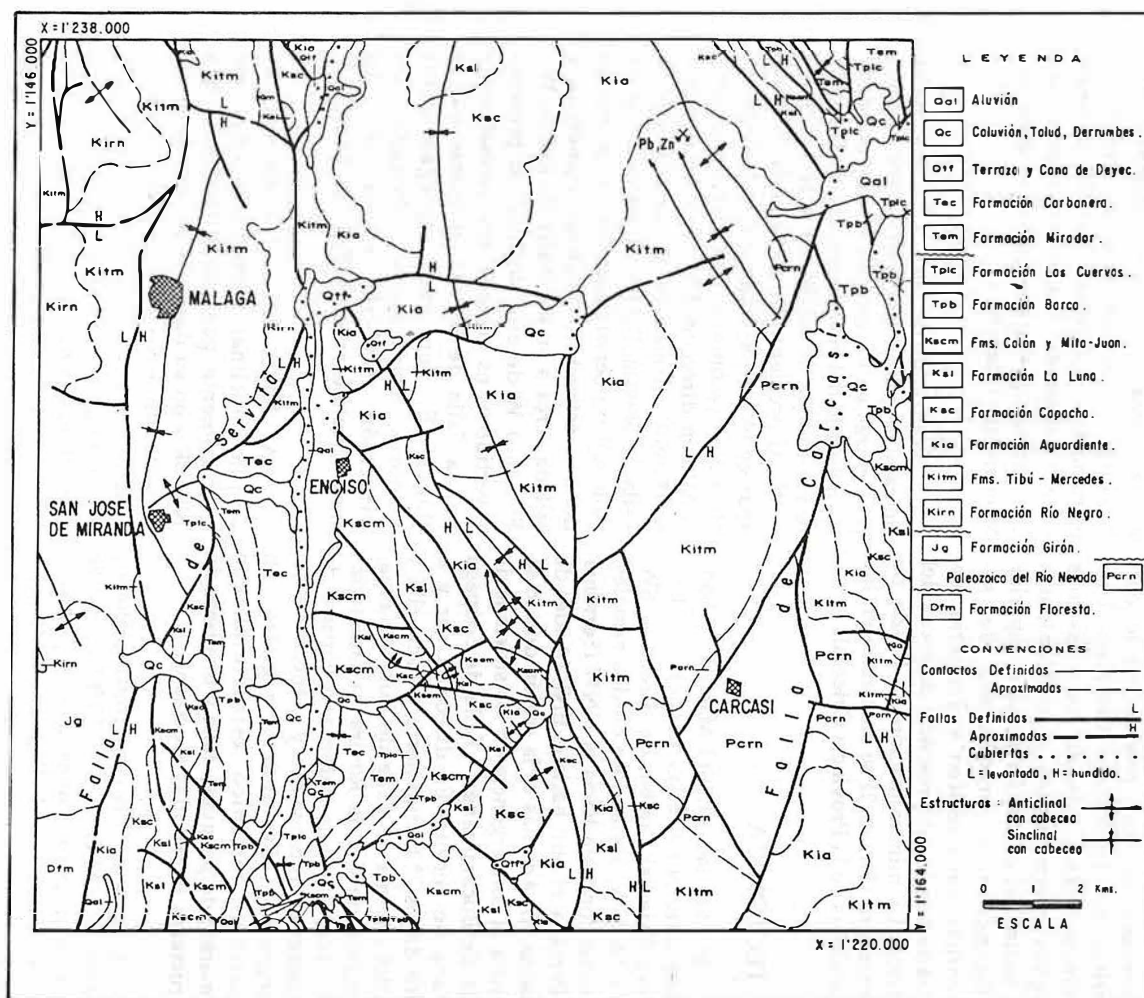


FIG. 2: Mapa geológico de la zona norte de García Rovira (Tomado de VARGAS *et al*, 1976).

En el núcleo de uno de estos pliegues (Anticlinal de Morro Platera) se aprecia la relación discordante entre sedimentitas del Paleozoico superior y la secuencia del Cretáceo inferior.

### 3. GEOLOGIA DE LA MINERALIZACION DE MONTENEGRO

La posición de la mineralización en la secuencia estratigráfica requiere de la descripción de las unidades sedimentarias del Paleozoico superior y del Cretáceo inferior, por ser éstas las secuencias directamente relacionadas con los procesos geológicos que intervinieron en el origen y desarrollo de las estructuras mineralizadas. Las diferentes unidades y estructuras reconocidas en el área, están representadas en el esquema geológico de la Plancha 2.

#### 3.1. SEDIMENTITAS DEL PALEOZOICO SUPERIOR (Pcrn)

Cerca a la base del escarpe del Filo Cisneros, en el sitio de Cajones, se encuentra una sucesión de capas de 20-80 cm de espesor de arenitas de grano medio a fino de color pardo gris, bien cementadas y con abundantes láminas de mica y materia orgánica en las superficies de estratificación. Esporádicamente se aprecian interposiciones hasta de 1 m de limolitas y lodolitas (lutitas) pardo-rojizas, en capas con estratificación paralela a subparalela. Esta secuencia presenta una orientación regional N60°W y una inclinación de 30-35°NE. Los resultados de análisis de roca, permiten recomendar el estudio estratigráfico detallado de la secuencia, que además, yace debajo de una discordancia regional.

Unos 25 km al sur de Montenegro, se ha descrito una secuencia sedimentaria de 150 m de espesor, que contiene lutitas rojas con nódulos calcáreos, arenitas grises y calizas lenticulares, con una fauna de braquiópodos, conodontes, gasterópodos,

ostrácodos, foraminíferos, crinoideos y algas (STIBANE y FORERO, 1969). El tope de esta serie contiene brechas calcáreas con braquiópodos del género *Composita* y de edad posiblemente Pérmica. La posición estratigráfica y semejanza litológica de la sección de Montenegro con la serie descrita por Stibane y Forero, permite sugerir una correlación entre las dos secuencias. En la literatura la secuencia descrita se ha denominado "Permo-Carbonífero del Río Nevado".

#### 3.2. SEDIMENTITAS DEL CRETACEO INFERIOR

Para la representación y definición de las unidades litoestratigráficas cretáceas de Montenegro, se ha utilizado la nomenclatura establecida en la Concesión Barco (Cuenca de Maracaibo).

##### 3.2.1. FORMACION TIBU - MERCEDES (Kitm)

El Cretáceo inferior de Montenegro está representado en su parte inferior, por una secuencia arenosa que descansa en discordancia angular sobre capas del Paleozoico superior; en su parte media y superior consta de varios conjuntos arenosos y calcáreos, separados por delgados niveles de lodolitas. El contenido faunístico de esa secuencia aún no ha sido estudiado; sin embargo, su posición estratigráfica y características litológicas, permiten una correlación con la Formación Tibú - Mercedes, cuya edad, según dataciones en biomicritas que afloran en el valle del río Servitá, estaría entre el Valanginiano y el Aptiano (ACOSTA, 1960). Para este trabajo la secuencia ha sido subdividida en cinco miembros (Figura 3).

**3.2.1.1. Miembro arenoso basal (A).**- Constituye los 2/3 inferiores del escarpe que conforma el Filo Cisneros y consta de estratos casi horizontales de cuarzo-arenitas de grano medio a fino y color gris blanco a gris pardo (Figura 4). Hacia la base aparecen capas desde 20 cm hasta bancos de 1,5 m de arenitas de

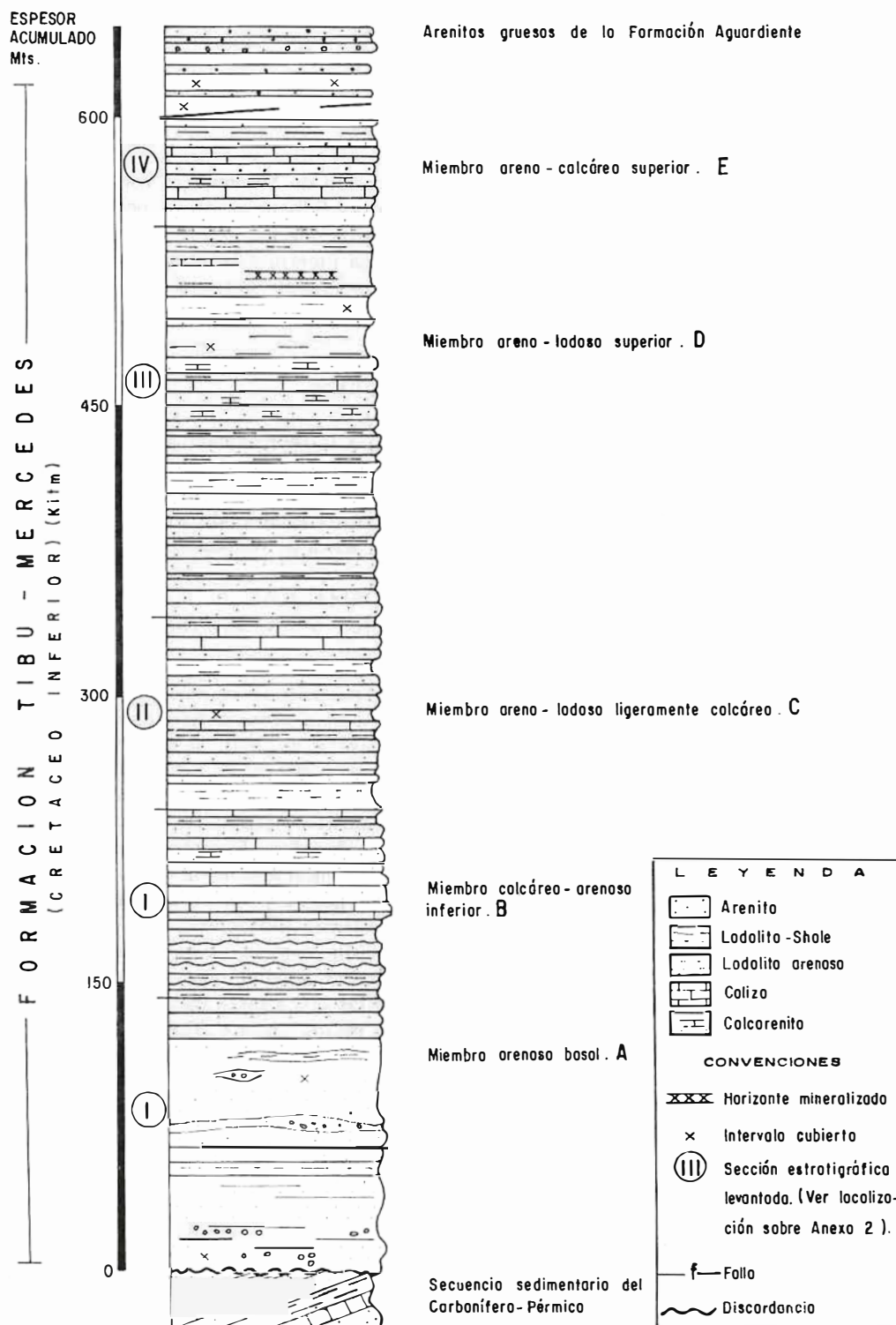
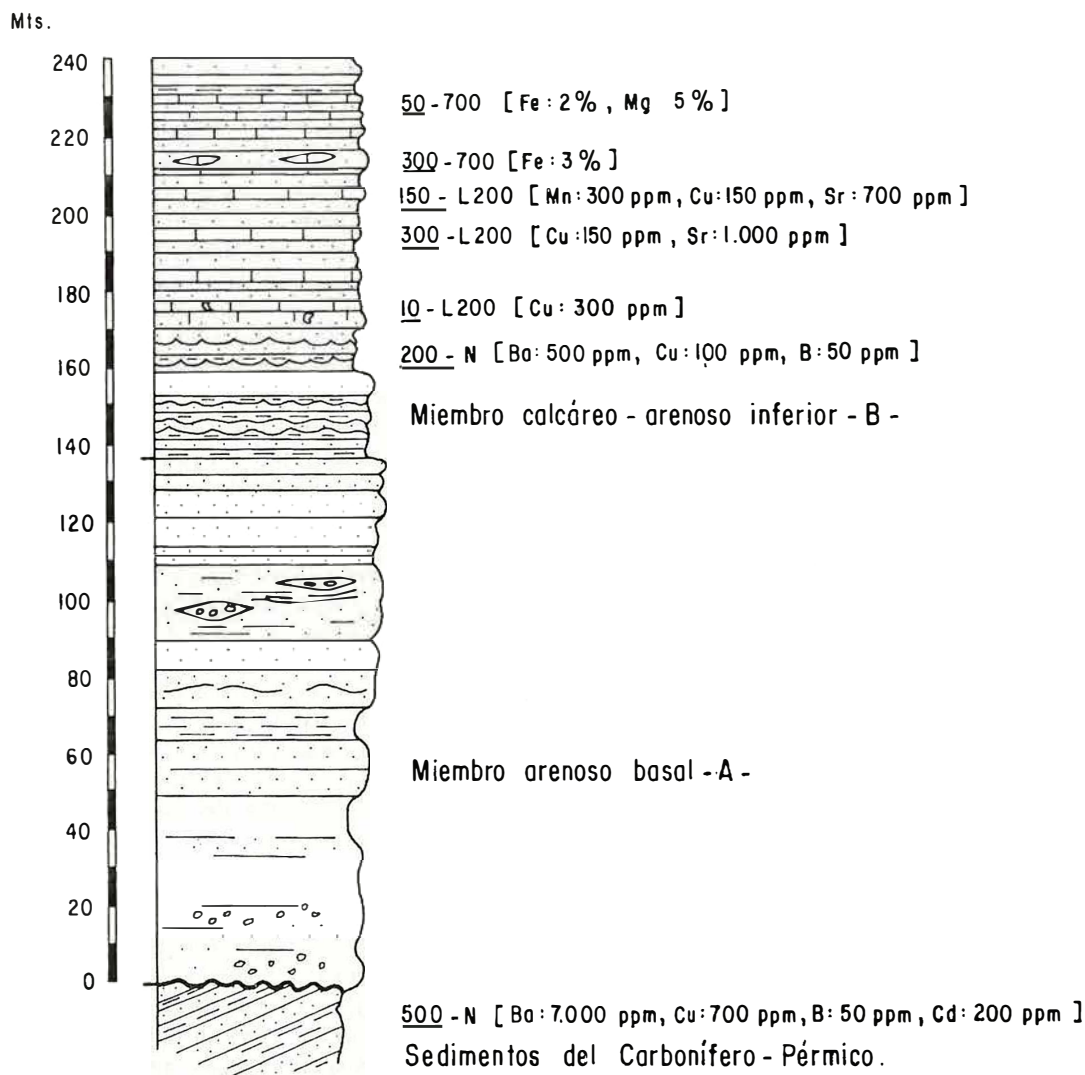


FIG. 3: Columna estratigráfica de la región de Montenegro.



| L E Y E N D A |                  | C O N V E N C I O N E S       |                                           |
|---------------|------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|
|               | Arenita          | 10 - L200 :                   | Análisis espectrográfico : Pb - Zn en ppm |
|               | Lodolita - Shale |                               | L = menor de 200 ppm.                     |
|               | Lodolita arenosa |                               |                                           |
|               | Caliza           | [ Cu : 300 ppm ] [ Fe : 3 % ] | Análisis.                                 |
|               | Calcarenita      |                               | espectrográfico : otros elementos.        |
|               |                  |                               | DISCORDANCIA                              |

FIG. 4: Sección estratigráfica miembros arenoso basal y calcáreo - arenosos inferior. Relación litología vs contenido elementos. Sección (I) Filo Alto Bravo (Ver Plancha 2).

grano medio a grueso y lentes de conglomerados arenosos con fragmentos subredondeados hasta de 1,5 cm de diámetro de cuarzo lechoso. Hacia el tope se encuentran horizontes de 2 a 3 m de espesor, constituidos por capas delgadas de arenitas color pardo a gris-blanco, con intercalaciones de lodolitas y limolitas. Predomina una estratificación ondulosa subparalela a irregular discontinua, notoria por la presencia de láminas de mica y restos vegetales sobre los planos de estratificación.

Considerando la discordancia angular existente, las características litológicas y el espesor (calculado en 130 m), este conjunto basal podría ser el equivalente litoestratigráfico de la Formación Rionegro, cartografiada al N y W del área de trabajo. Hasta no contar con mejores evidencias y un reconocimiento más regional de su extensión, en este trabajo se le considera como la parte basal de la Formación Tibú - Mercedes.

**3.2.1.2. Miembro calcáreo-arenoso inferior (B).**- Está conformado por una secuencia de rocas carbonatadas en capas de 10 cm hasta bancos de 2 m de potencia, alternando con arenitas cuarzo-micáceas de grano fino a medio en capas de 0,5 a 1,5 m con laminación ondulosa subparalela. Las variaciones en la composición de la roca carbonatada están representadas en niveles de calcarenitas micáceas, micritas y biomicritas de color gris medio a pardo-gris.

Este conjunto (Figura 4) constituye la parte superior del Filo Cisneros y en algunos sitios conforma las paredes verticales del escarpe. El contenido fosilífero presente en las distintas capas de la facies de carbonatos, permite esperar que del análisis paleontológico se pueda determinar además de la edad, las posibles condiciones paleoambientales de la secuencia. El espesor de esta unidad se estima en 65 m.

**3.2.1.3. Miembro arenoso-lodoso ligeramente calcáreo (C).**- Al oriente de la quebrada Colorada, sitios de El Colorado y

Los Verdes (Plancha 2), ocurre una secuencia con aproximadamente 100 m de espesor, con estratos que siguen una dirección NW a N-S y un buzamiento entre 20 y 40° al oeste. Las características litológicas permiten diferenciar dos horizontes: uno inferior (45 m) con capas hasta de 1,2 m de cuarzoarenitas de grano medio a fino, color pardo a gris, micáceas, formando conjuntos hasta de 4 m de potencia, separados por niveles de 1 a 5 m de lodolitas-shale ligeramente calcáreos (Figura 5). El horizonte superior contiene capas de 30 - 60 cm de arenitas y calcarenitas de grano fino, micáceas, color gris-pardo, con recubrimientos y pátina de limonita que hacen que la roca en partes esté bien cementada y en otras aparezca como friable y porosa. También presenta intercalaciones de 2 a 6 m de lodolitas-shale y un horizonte de 8 m de biomicrita gris en bancos macizos. Hacia el techo aparecen arenitas cuarzo-micáceas ligeramente calcáreas, de grano fino a medio, y color gris-verde a pardo por meteorización. El basculamiento de los bloques que conforman esta secuencia, no permite visualizar si la base suprayace inmediatamente el techo del miembro calcáreo-arenoso inferior.

**3.2.1.4. Miembro arenoso-lodoso superior (D).**- Está constituido por capas con rumbo N-S y una inclinación de 55° al oeste y se le reconoce al ESE de la Casa de Montenegro. Aquí se diferencian dos horizontes: uno inferior con cerca de 110 m de potencia, a la base con capas delgadas formando conjuntos hasta de 8 m de espesor, de cuarzoarenitas de grano fino a medio, micáceas, localmente lodosas, color gris-verde a pardo por meteorización, separados por intercalaciones de lodolitas arenosas, micáceas y laminadas. Hacia el techo aparece una alternancia de lodolitas con capas de 50 a 80 cm de arenitas lodosas gris-verde, de grano medio a fino y 2-3% de restos vegetales (Figura 6). Arenitas con recubrimiento superficial de limolita, muestran laminación plana a ondulosa suave, definida principalmente por distribución de partículas de mica en los planos de estratificación.

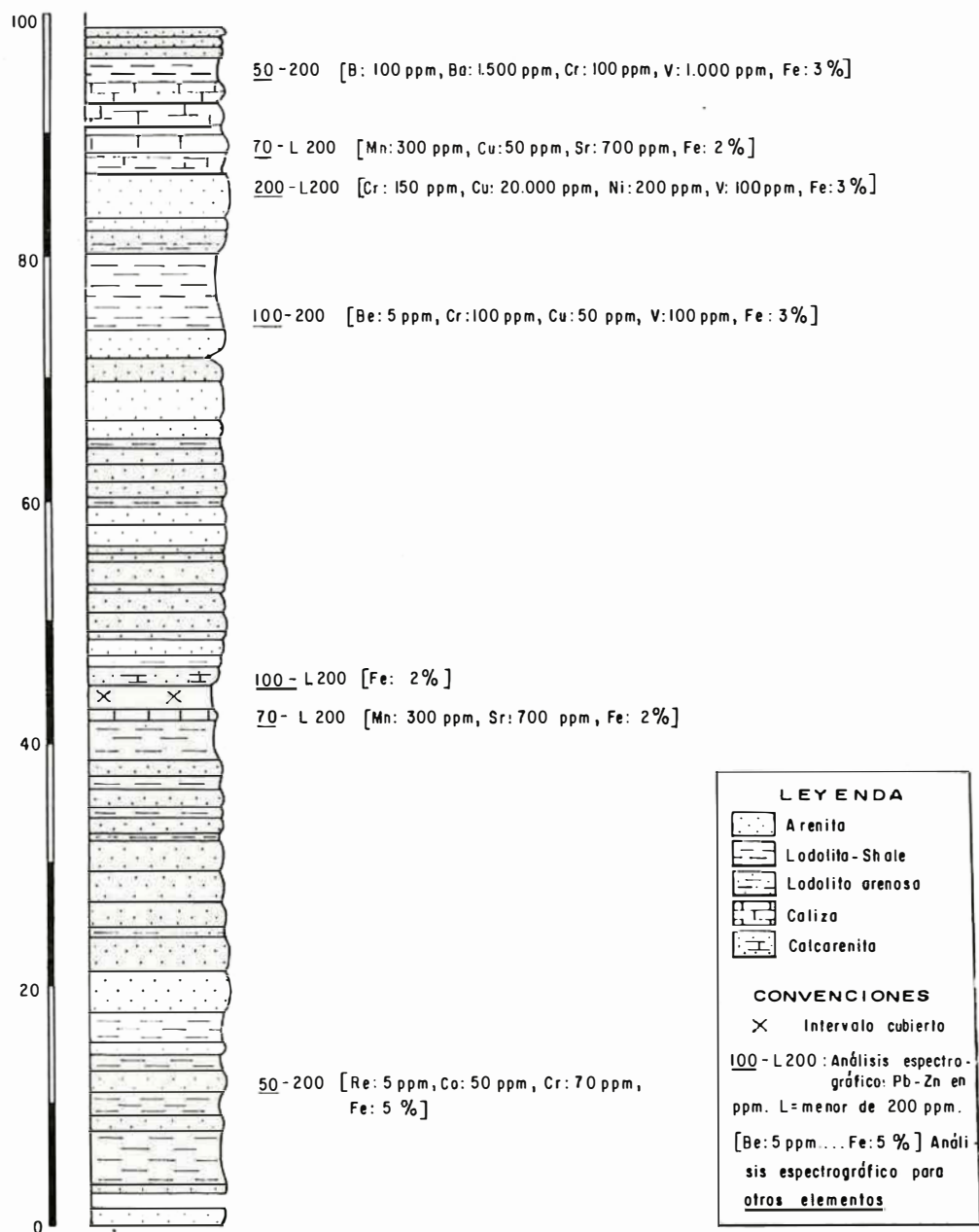


FIG. 5: Sección estratigráfica Miembro areno-lodoso ligeramente calcáreo. Relación litología vs contenido elementos Sección (II) Los Verdes (Ver Plancha 2).



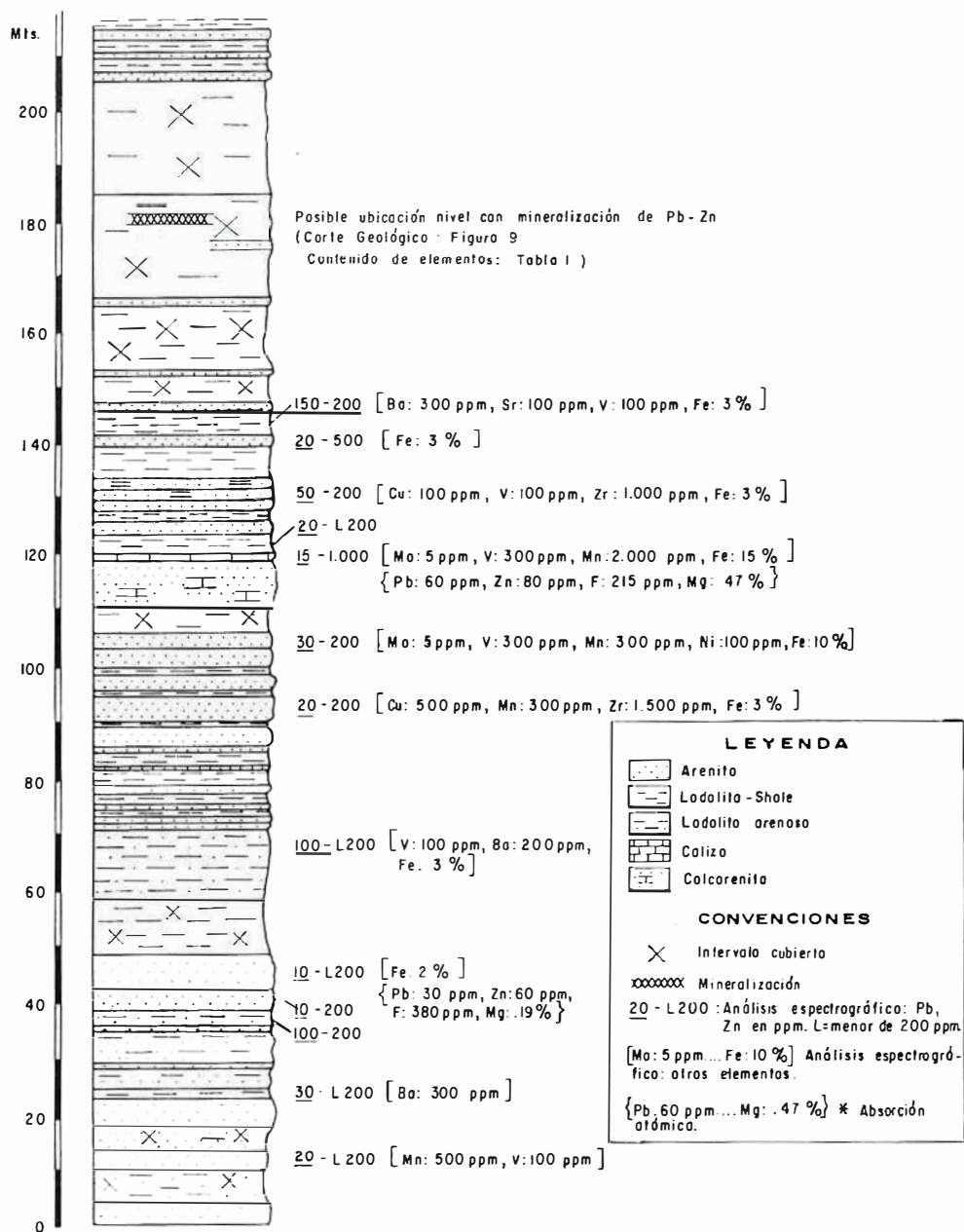


FIG. 6: Sección estratigráfica Miembro areno-lodoso superior. Relación litología vs contenido de elementos Sección (III) Montenegro (Ver Plancha 2).

El horizonte superior con aproximadamente 100 m de espesor, presenta pocos afloramientos y un desarrollo morfológico suave con capas de lodolita-shale y lodolitas arenosas con restos vegetales y mica. En algunas intercalaciones de calcarenitas de grano fino, y color gris-verde a pardo se encuentran intraclastos de lodolitas. Tanto la mineralización de Montenegro como las anomalías geoquímicas y geofísicas encontradas, están localizadas en niveles litológicos de este miembro D; sin embargo, falta precisar y reconocer los horizontes favorables a la mineralización.

**3.2.1.5. Miembro arenoso-calcareo superior (E).**- Al oriente de Loma Redonda se encuentran estratos que siguen una orientación N75°W y buzamiento de 20°NE. Se trata de un conjunto de aproximadamente 100 m de espesor, con capas de 0,1 - 0,8 m de arenitas ligeramente calcáreas de grano fino a medio, color gris verde a pardo en superficie, y con restos fósiles localmente limonitizados (Figura 7). Esporádicas intercalaciones hasta de 7 m de espesor, de micritas-biomicitas grises a pardas y algunas capas de calcarenitas pardas con alto contenido de restos fósiles. En aparente concordancia y suprayaciendo a esta secuencia, continúa una sucesión de capas y bancos macizos de cuarzoarenitas gris-blancas de grano medio a fino y un conjunto de arenitas blancas de grano grueso a muy grueso que por su variación textural podría estar representando a la base de la Formación Aguardiente.

### 3.3. DESARROLLO TECTONICO-ESTRUCTURAL

La región de Montenegro, distante 7,5 km al SE de Concepción, se encuentra limitada al NE por la falla inversa de Aguas Claras, al SE por la Falla del río Tunebo - Cajones, y al W por el Sinclinal de Mesetas (Plancha 1). Las estructuras imbricadas y los cambios en la dirección de varias estructuras son algunos de los rasgos que

conjuntamente con los accidentes tectónicos mayores, reflejan los efectos de las fases orogénicas del Terciario superior en la región (Figura 8).

La presencia de mineralizaciones de metales base en sedimentitas de la Cordillera Oriental, demuestra que existe el ambiente geológico favorable para la formación de este tipo de depósitos (MENDOZA-FORERO, 1981). No obstante aún falta reconocer cómo y en qué proporción la actividad tectónica ha sido importante en la generación y control de los parámetros involucrados en los procesos de mineralización.

La deformación tectónica que afectó los cuerpos de roca durante la orogenia del Terciario, pudo removilizar parte del contenido metálico diseminado en los sedimentos y contribuir a su concentración por procesos de laterogénesis y en algunos casos propiciando el enriquecimiento y superposición en cinturones mineralizados más antiguos.

Las siguientes estructuras pudieron desempeñar algún papel en los procesos de formación y concentración de los sulfuros minerales en el área de Montenegro: 1) Superficie de discordancia Paleozoico-Mesozoico; 2) Sistemas de fallas inversas y de sobrecojamiento; 3) Anticlinal de Morro Platera, Sinclinal (?) de Montenegro y estructuras apretadas y orientadas NW-SE; 4) Falla de Montenegro y pequeñas fracturas transversales a la dirección de las estructuras mayores.

### 3.4. DESCRIPCION DEPOSITO MINERAL

La mineralización de Pb-Zn de Montenegro se encuentra unos 80 m al oriente del trazo superficial de la Falla de Montenegro, cuya orientación N30°W coincide con la dirección de las capas de la secuencia sedimentaria.



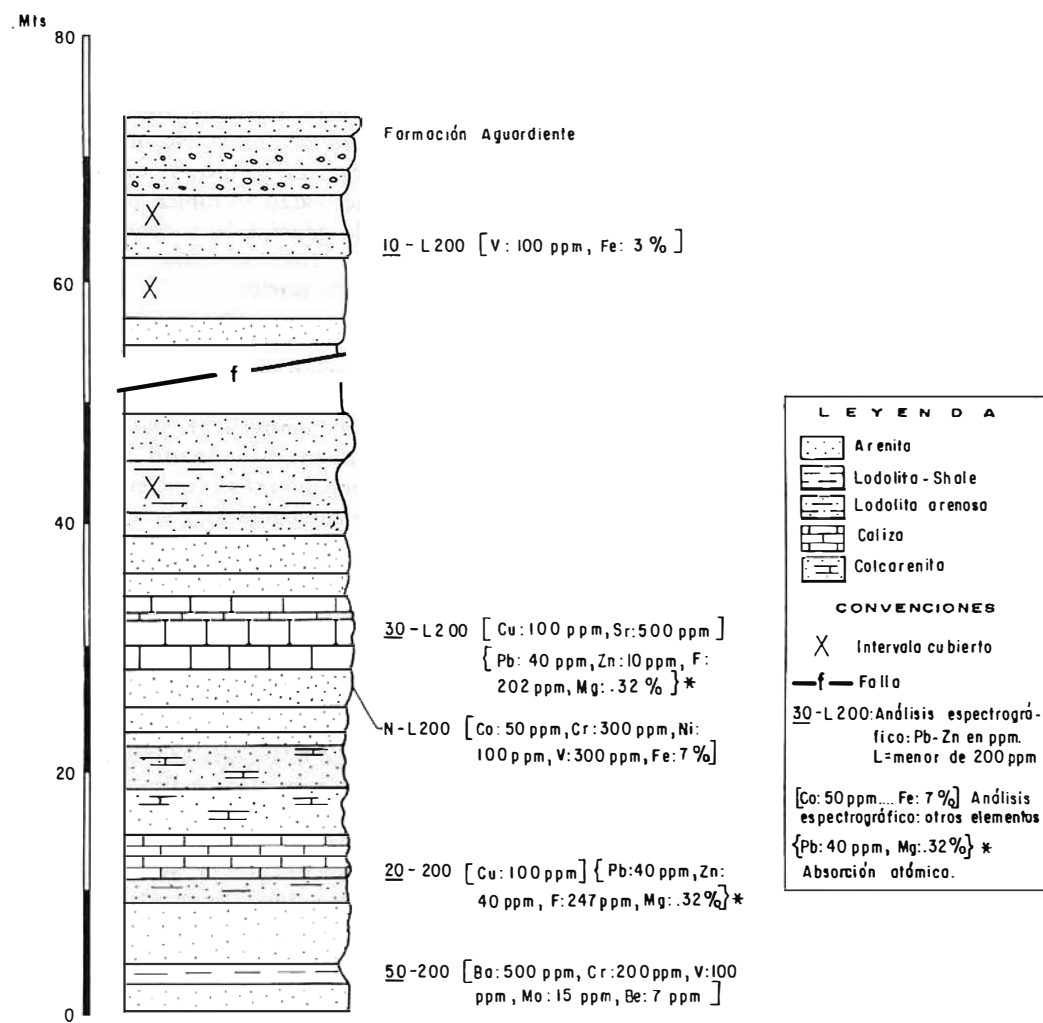
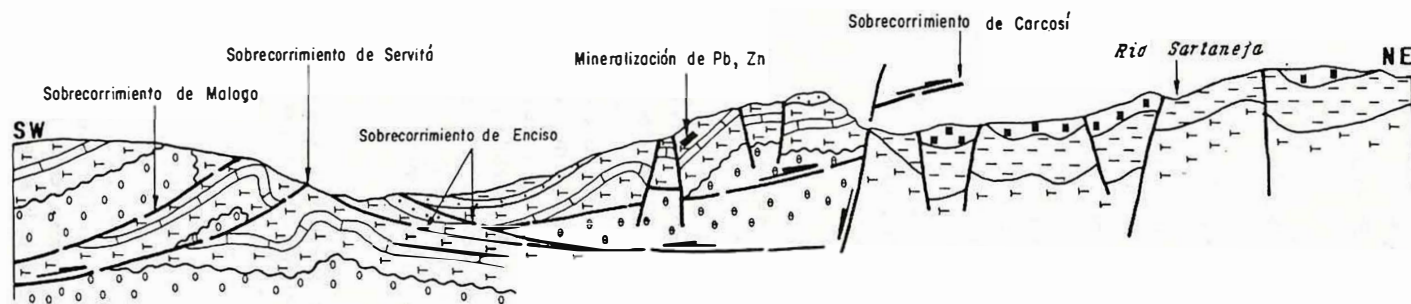


FIG. 7: Sección estratigráfica Miembro arenocalcareo superior. Relación litológica vs contenido elementos Sección (IV) Loma Redonda (Ver Plancha 2)



L E Y E N D A

|                    |   |  |                            |
|--------------------|---|--|----------------------------|
| TERCIARIO INFERIOR | { |  | Sin Diferenciar            |
| CRETACEO SUPERIOR  | { |  | Sin Diferenciar            |
| CRETACEO INFERIOR  | { |  | Fm. Aguardiente            |
|                    |   |  | Fm. Tibú - Mercedes        |
| JURASICO           | { |  | Fm. Girón                  |
| PERMO CARBONIFERO  | { |  | Paleozoico del Río Nevado. |

C O N V E N C I O N E S

C O N T A C T O S

|  |              |
|--|--------------|
|  | De finidos   |
|  | Discordantes |

F A L L A S

|  |                     |
|--|---------------------|
|  | Normal              |
|  | De Sobrecorrimiento |

FIG. 8: Corte geológico esquematizado entre la localidades de Málaga y Río Sartaneja.

Aún falta información que permita establecer si se trata de uno o más niveles mineralizados y su posición relativa en la secuencia estratigráfica cretácea. La descripción de la mineralización corresponde a un afloramiento en un apique de 11 m de longitud, 2 m de ancho y 3 m de profundidad.

Los campesinos mencionan que en algún tiempo se explotaron venas y lentes de galena (con forma de bolsones), paralelos a los planos de estratificación y dispuestos en forma escalonada tanto en la dirección de las capas como en dirección del buzamiento. Algunos bolsones alcanzaban dimensiones de 80 x 30 x 25 cm y se sacaron bloques de mineral hasta con cinco arrobas de peso.

En 1969 el INGEOMINAS colectó y analizó cuatro muestras del horizonte mineralizado, encontrándose los siguientes valores máximos: 22,5% Pb, 56,6% Zn y 12,45% Fe. Estos resultados condujeron a que se intentara seguir lateralmente la capa mineralizada y con este propósito se tomaron 11 muestras de suelo y cuatro de sedimentos. El análisis espectrográfico semicuantitativo, efectuado en el laboratorio del U. S. Geological Survey en Denver, mostró resultados poco o nada positivos: solo una muestra de suelo presentó un valor de 100 ppm de Pb; en las restantes los valores fueron menores de 30 ppm de Pb y en ninguna se detectó Zn. Esta situación disminuyó la expectativa sobre el potencial económico del área y ésta fue abandonada.

El nivel mineralizado, con 2,4 m de espesor, se encuentra en una secuencia clástica de grano fino, principalmente de arenitas lodosas, color gris medio, con láminas de 1-5 cm de material arcilloso-carbonoso y algunas interposiciones de capas delgadas de caliza parcialmente dolomitizadas y limonitizadas.

Valores anómalos para Pb-Zn demuestran que los sulfuros se extienden hasta 2 m por debajo del nivel mineralizado (Figura 9). Los sulfuros, galena y esfalerita, se concentran en venas de 3-5 cm que siguen o cruzan los planos de estratificación y preferencialmente se asocian a bandas de material carbonoso o hacia la base de las capas. La galena y esfalerita aparecen como cristales subhedrales o en bandas amorfas que rodean o cruzan cristales más grandes de uno u otro mineral. Venas de cuarzo, calcita y dolomita siguen la dirección de la estratificación y/o cortan bandas de sulfuro mineral. Estructuras en drusa con cristales de cuarzo transparente (cristales diente de perro) ocurren en rellenos de fisura. Donde la roca está dolomitizada, los sulfuros aparecen en granos diseminados o formando cúmulos de cristales hasta de 5 mm de diámetro.

En las sedimentitas que contiene la mineralización, se reconocen los siguientes rasgos litológico-sedimentológicos: la secuencia inicia con material detrítico tamaño grava a arena fina, suprayacida por una sucesión monótona en facies areno-arcillosas y de carbonatos que muestran capas finamente laminadas y una estratificación que varía desde maciza hasta ondulosa subparalela o paralela. Estas características son propias de sedimentos de plataforma, depositados en ambientes de aguas poco profundas.

Resumiendo, la mineralización de Montenegro está constituida principalmente por dos sulfuros: galena y esfalerita, acompañados de una ganga de cuarzo, dolomita y calcita. En la matriz de arenitas carbonosas es posible que pirita muy fina se encuentre diseminada. Además de limonita y otros óxidos de hierro y manganeso, es posible apreciar un material de aspecto terroso, color blanco amarillento, que podría indicar la presencia de minerales de Cerusita y Smithsonita.

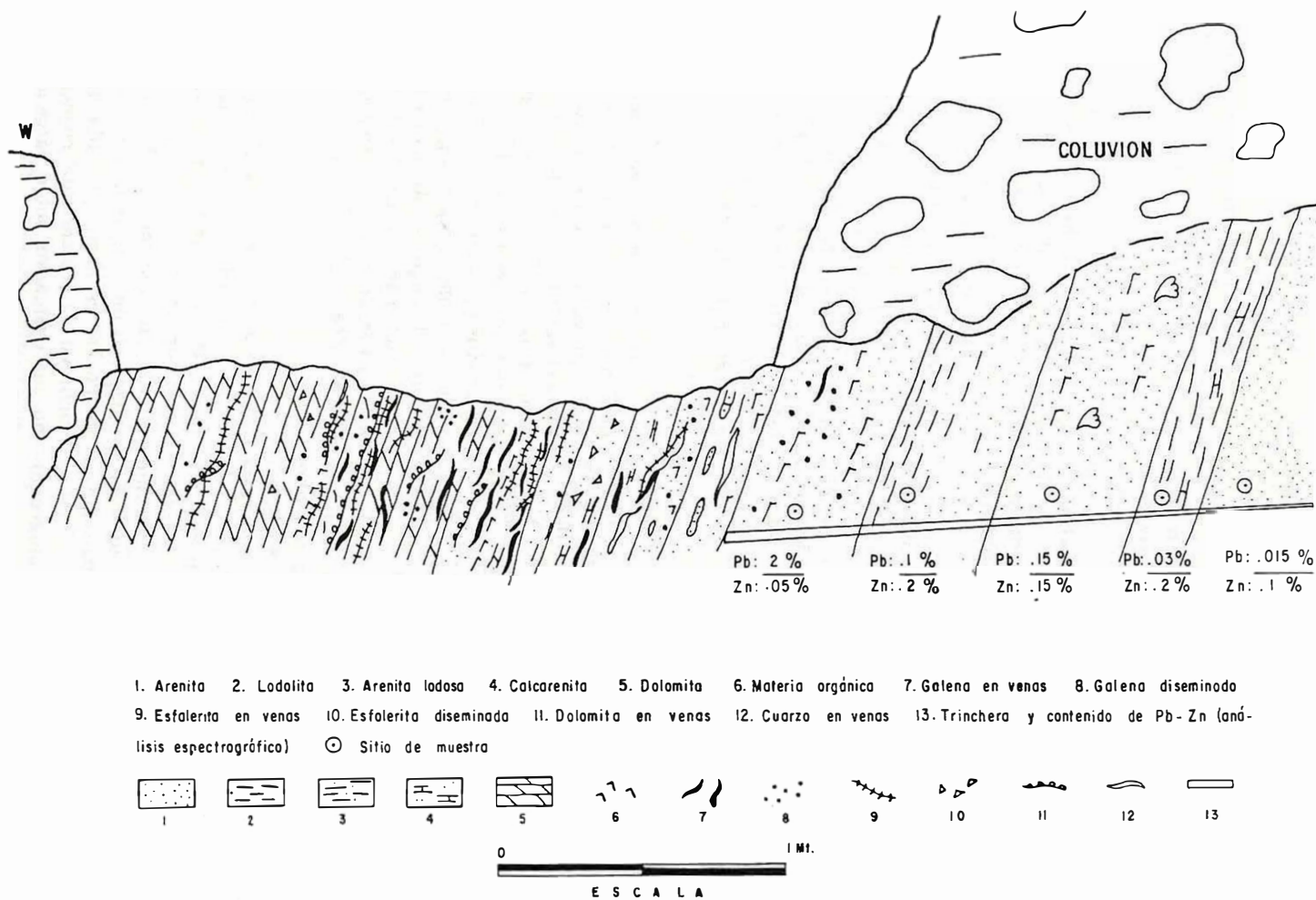


FIG.9: Corte geológico mineralización de Montenegro.

## 4. PROSPECCION GEOQUIMICA

### 4.1. SISTEMA DE MUESTREO Y ANALISIS

Mediante un muestreo de roca en diferentes niveles de la secuencia sedimentaria cretácea, se intenta reconocer la posible distribución de los sulfuros y el grado de asociación con algunos horizontes litoestratigráficos de la secuencia. No está por demás mencionar que la prospección para depósitos sedimentarios tiene sus propias peculiaridades, particularmente cuando se trata de buscar depósitos en ambientes tropicales. Según Hawkes (1954, p. 52) en estas zonas, pocos son los depósitos importantes que se conocen y es más difícil cuando se trata de minerales como la esfalerita, que no es resistente a la meteorización, ni llama la atención con sus productos de oxidación.

Simultáneamente con el levantamiento de secciones columnares, se realizó un muestreo geoquímico orientado a los niveles principalmente de calizas y arenitas. Todas las muestras se colectaron en afloramientos superficiales y exceptuando las muestras del nivel mineralizado, ningún otro tipo de muestra o afloramiento, mostró evidencia de sulfuros que se apreciaran a simple vista.

La interpretación de los resultados corresponde a los valores obtenidos sobre 96 muestras de roca analizadas por el método espectrográfico. Los resultados para 18 muestras de roca analizadas por absorción atómica confirman algunos de los valores de Pb-Zn por el método espectrográfico y aportan nueva información respecto al contenido en elementos como: Ag, Cd, Mo y F. Rocas de lodolita-shale no fueron analizadas por considerarse no representativas en el muestreo litogeoquímico.

### 4.2. METODOS ESTADISTICOS

#### 4.2.1. PROCEDIMIENTO

A pesar de la baja población involucrada en el muestreo, se decidió realizar el tratamiento por métodos estadísticos con el propósito de establecer parámetros numéricos o gráficos, que puedan ser interpretados en función de las características geoquímicas de las unidades litológicas analizadas. Se trabajó con dos grupos litológicos, uno constituido por arenitas y otro por arenitas calcáreas y calizas. Se construyeron histogramas de distribución y curvas de frecuencia acumulada; se calcularon los valores normal (background) y Umbral (Threshold), parámetros que finalmente facilitaron la interpretación de los resultados. En el tratamiento estadístico no se incluyeron resultados provenientes de muestras de shale, tampoco los de las muestras de la mineralización y trinchera.

No obstante los inconvenientes y deficiencias inherentes tanto al sistema de muestreo como al método de análisis utilizado, el valor numérico de los parámetros estadísticos calculados, resulta altamente significativo, frente a los valores promedio reportados en sedimentitas de diferentes partes del planeta. Según algunos investigadores, el rango de valores en ppm, sin incluir litologías finas (shale), corresponde a: Pb: 4 a 18, Zn: 5.2 a 31, V: 3,9 a 40, F: 9,8 a 120, Mn: 29 a 900; Fe: 0,9 a 2,1 %.

Para las muestras analizadas por el método espectrográfico semicuantitativo de seis etapas y por el método de análisis por absorción atómica, por las diferencias propias de cada método, se dificulta la interpretación comparativa de los valores de Pb-Zn, es decir que solo se puede confirmar la presencia del elemento, más no una evaluación sobre variación en la distribución del mismo.

## 4.2.2. RESULTADOS GEOQUIMICOS

**4.2.2.1. Plomo.-** El contenido de Pb en arenitas, presenta una distribución asimétrica a la izquierda (Figura 10) en dirección a los valores bajos (Skewness negativa), demostrando interferencia en la interpretación. La distribución es multimodal, con tendencia a presentar un modo en el intervalo de clase de 10 ppm y otro en 20 ppm.

Considerando la distribución en el conjunto arenita + caliza (Figura 11) el modo principal se localiza en el intervalo 20 ppm y le sigue un modo en 10 ppm. Estos dos intervalos representan el 55% de la población y permiten que se asigne el valor de 20 ppm como normal, el de 70 ppm como umbral y se consideren anómalos, los valores mayores o iguales a 70 ppm. En los valores altos se aprecia tendencia hacia el intervalo 200 ppm.

La distribución de frecuencia acumulada para Pb en arenitas (Figura 12) refleja la existencia de dos poblaciones A y B. La recta A se toma como población normal principal y el segmento A + B como la mezcla de las dos poblaciones. Según Lepeltier (1969), el valor background para la población normal corresponde con la intersección del 50%, lo cual da 30 ppm y el valor umbral como la abscisa proyectada al centro de la línea A + B, es decir 85 ppm. Separando la población total en dos más elementales, éstas corresponderían a las rectas a y b, pero debido al escaso número de muestras consideradas, no se justifica el intentar el cálculo de coeficientes de desviación.

Con respecto al conjunto arenita + caliza, los segmentos de recta que representan las frecuencias acumuladas (Figura 14), muestran dos quiebres importantes para el Pb. El primero ocurre al nivel del 30% hacia un gradiente menor, situación que refleja tendencia hacia los valores altos. Tomando la intersección del 50% con el segmento de recta A, se obtiene un valor de 38 ppm para el nivel normal, y en el segmento A + B el valor de 120 ppm para el

nivel umbral. (Con excepción de una muestra, en las restantes 36 se detectó el Pb registrándose valores entre 10 y 500 ppm).

La población total en el caso del Pb se consideró como dos poblaciones a y b determinándose en cada caso sus respectivos coeficientes estadísticos, con los valores que aparecen en el recuadro izquierdo de la Figura 14. Las diferencias que se presentan en los valores normal y umbral calculados gráficamente para cada caso, son las esperadas, si se tiene en cuenta el bajo número de muestras consideradas y las condiciones de meteorización y oxidación de los afloramientos.

De lo anteriormente expuesto tenemos que:

1. Hay que establecer como valor normal 20 ppm de Pb y considerar como anómalos los valores iguales o mayores de 70 ppm.
2. Existe tendencia del Pb a concentrarse y distribuirse más uniformemente en litologías principalmente de caliza y arenitas calcáreas.
3. De las muestras consideradas solo el 15% presenta valores mayores de 120 ppm de Pb.

**4.2.2.2. Zinc.-** Este elemento se detectó en el 98% de las muestras analizadas. En el 52% de ellas, los valores están por debajo de 200 ppm y el 48% restante, presenta valores entre 200 y 1.000 ppm. (El límite de detección por el método espectrográfico es muy alto; 200 ppm). El histograma de distribución de Zn en arenitas (Figura 10) muestra dos poblaciones, una normal principal, con asimetría a la derecha en dirección a los valores altos (Skewness positiva) y una población más pequeña de valores más altos que el promedio. Considerando la población principal, se aprecia una distribución unimodal con una moda principal en 200 ppm, valor que corresponde al 50% de las muestras, por lo que también se toma como valor normal.

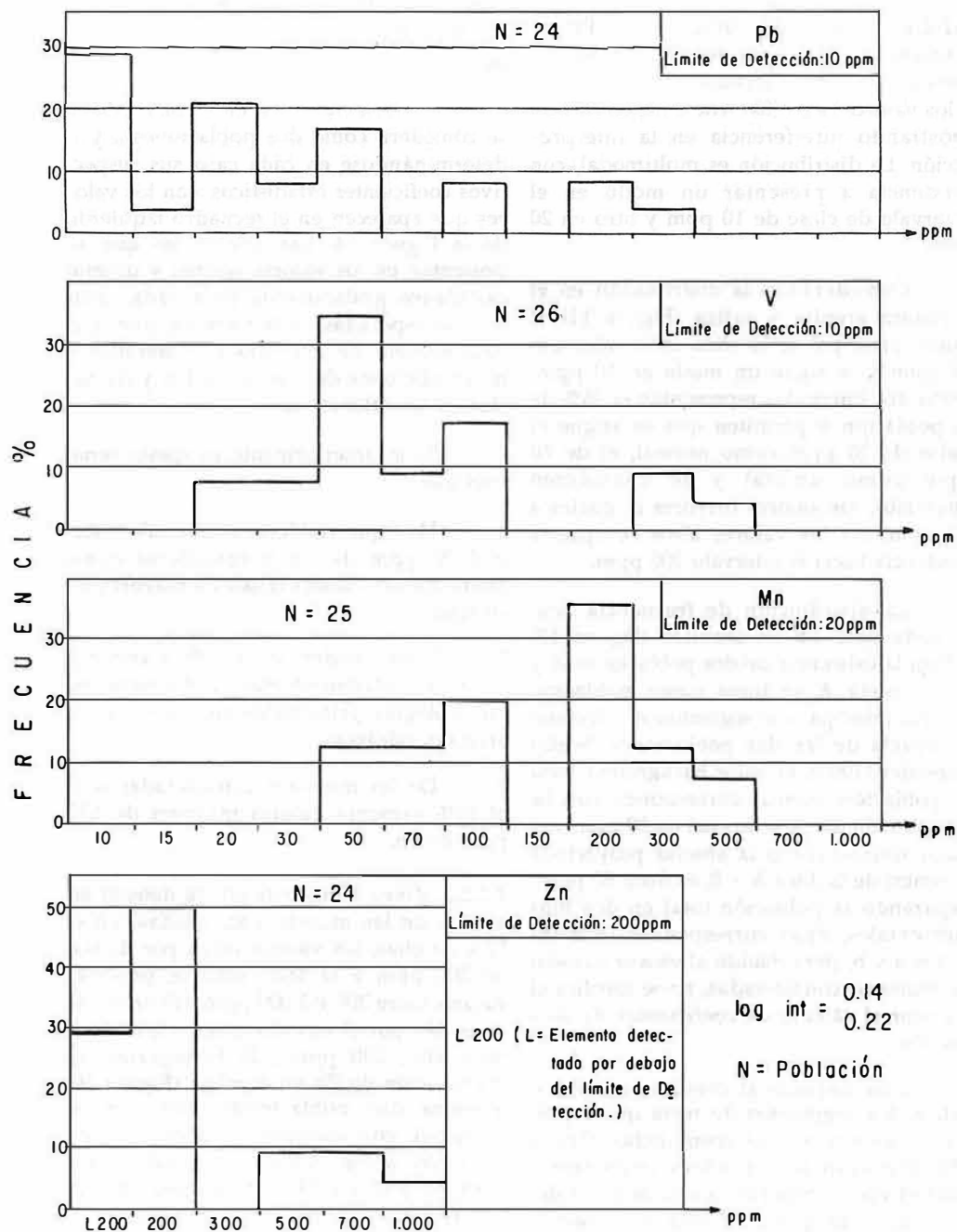


FIG. 10: Histogramas de distribución de Pb, V, Mn y Zn en arenitas de la Formación Tibú - Mercedes. Análisis espectrográfico.



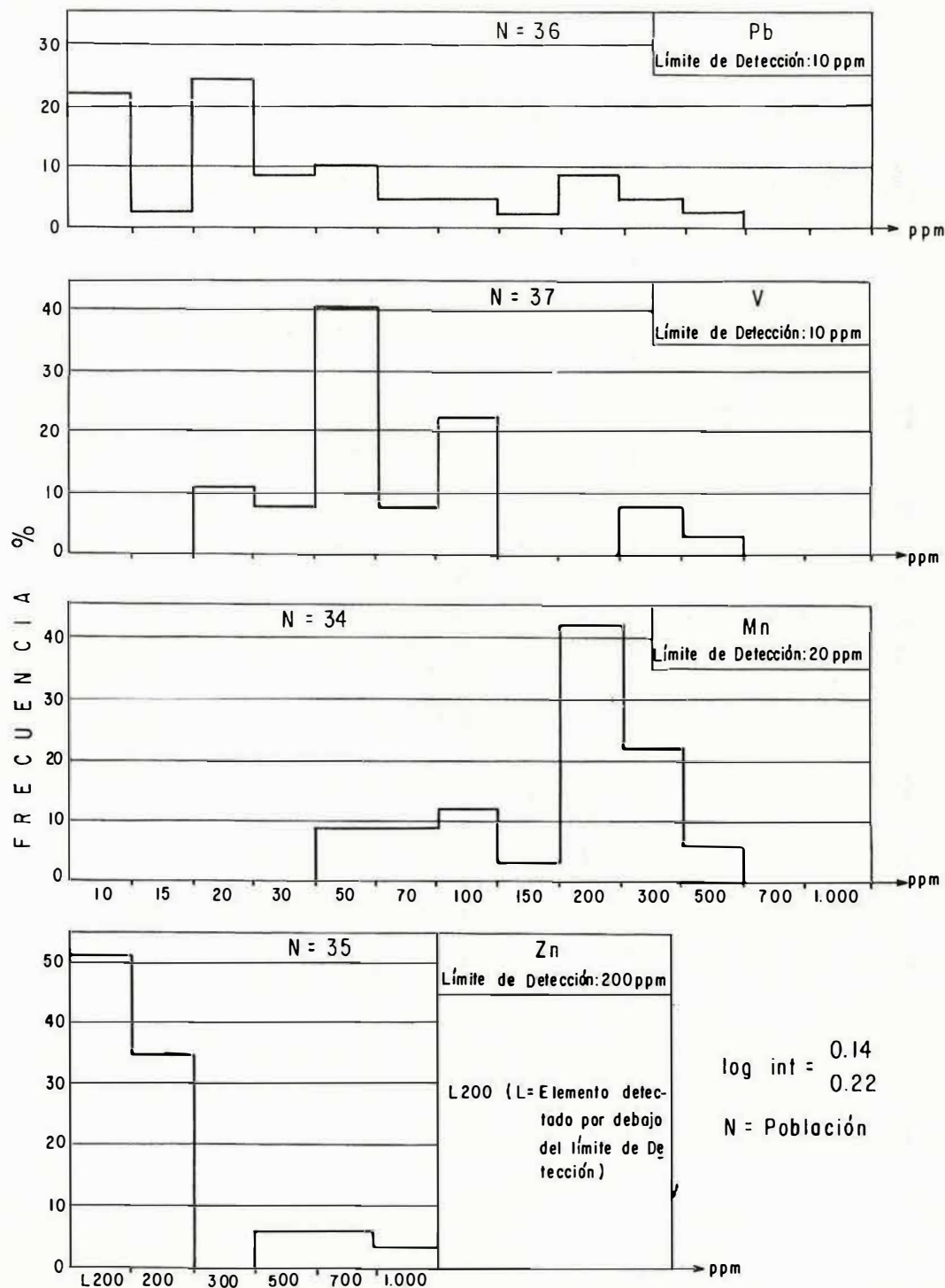


FIG. 11: Histogramas de distribución de Pb, V, Mn y Zn en arenitas + calizas de la Formación Tibú - Mercedes. Análisis espectrográfico.

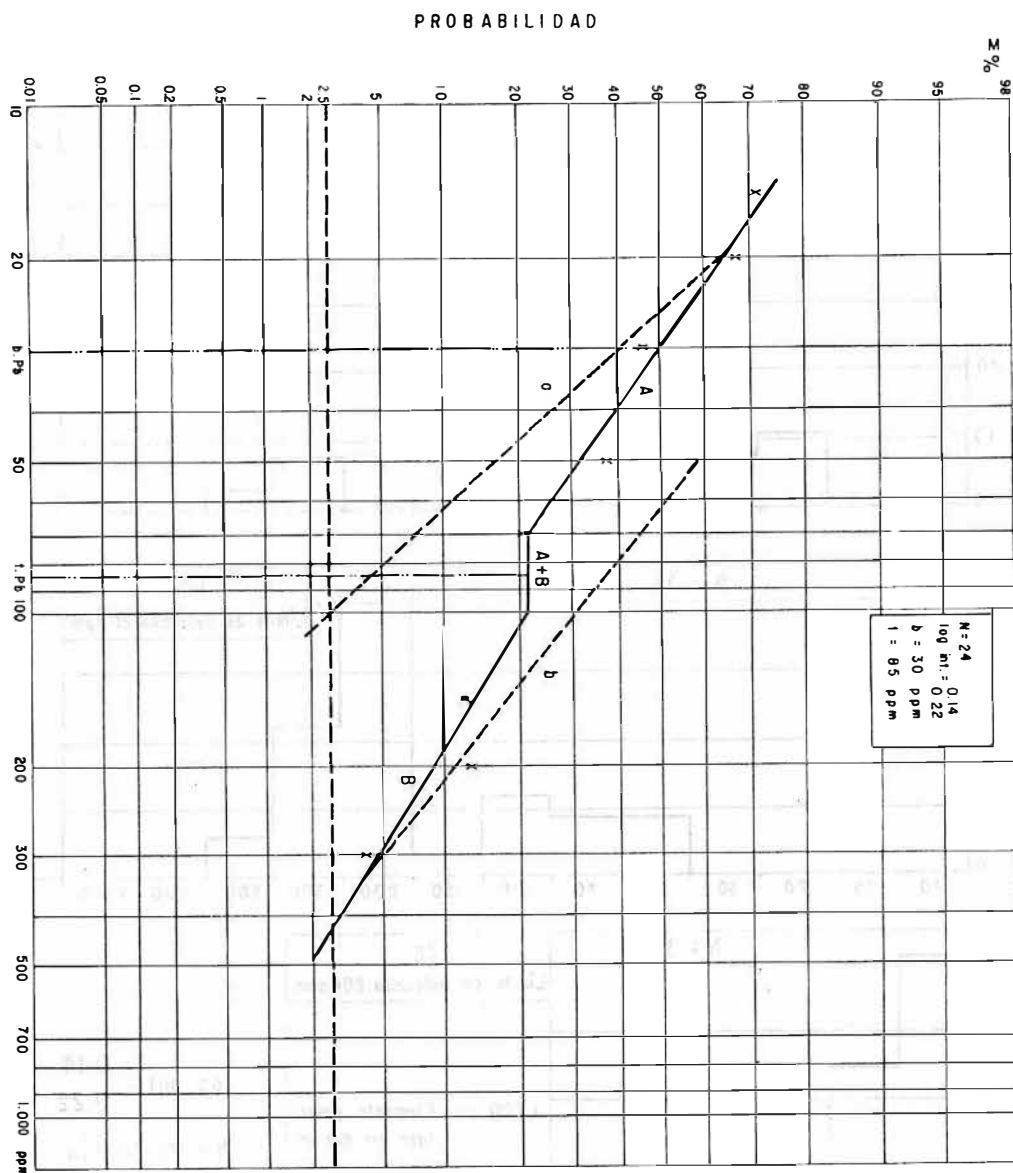


FIG. 12: Distribución de frecuencia acumulada para Pb en arenitas.

En el caso del conjunto arenita + caliza, el histograma se vuelve asimétrico a la izquierda, demostrando interferencia en los valores bajos (posiblemente correspondiente a mezcla de dos litologías en las que el Zn presenta un comportamiento geoquímico diferente). En este caso el valor normal está por debajo de 200 ppm, lo que permite tomar el valor 200 ppm como nivel umbral (Figura 11).

La gráfica de distribución de frecuencia acumulada para Zn en arenitas (Figura 13) refleja la presencia de dos poblaciones A y B. Asumiendo que la población A es la principal, se obtiene un valor normal de 235 ppm y un valor umbral de 400 ppm. Para el conjunto arenita + caliza (Figura 14) la línea de frecuencia acumulada muestra dos quiebres, interpretados como dos poblaciones C y D. El valor normal para la población principal, resulta ser de 200 ppm y el valor umbral para la mezcla de C + D se sitúa en 390 ppm. Como en el caso del plomo, aquí la población total fue considerada como dos poblaciones c y d; los respectivos coeficientes estadísticos pueden apreciarse en el recuadro derecho de la Figura 14.

La interpretación de los parámetros estadísticos para el Zn, conduce a los siguientes resultados:

1. Se asigna como valor normal y umbral el límite de 200 ppm de Zn y se consideran como anómalos los valores iguales o mayores a 200 ppm (como en este caso los valores calculados para el nivel umbral -390 y 400 ppm- son más altos que el valor de 200 ppm, tomado como anómalo, se considera cierta influencia del ambiente en la movilidad del Zn, por lo que los valores pueden estar reflejando lixiviación o remoción del elemento a nivel de afloramiento). Además la aproximación del método analítico puede ser tan subjetiva, que el no registro de valores de Zn, en el intervalo de 300 ppm podría demostrar deficiencia en la lectura.

2. Los valores entre 500 y 1.000 ppm de Zn, solo representan el 20% de las muestras consideradas.

3. El comportamiento geoquímico del Zn es similar ya sea en niveles de arenitas o en el conjunto arenita + caliza.

**4.2.2.3. Vanadio.-** Fue detectado en la totalidad de las muestras, con valores entre 20 y 500 ppm (Figura 10). El histograma de distribución de V en arenitas presenta un doble pico; sin embargo parece existir una población principal con distribución sensiblemente unimodal y ligera asimetría hacia los valores altos. La moda principal en el intervalo de 50 ppm se toma como valor normal y representa el 35% de las muestras analizadas. El segundo pico de la curva, involucra el 18% de las muestras tratadas y se asigna el valor de 100 ppm, como el nivel umbral. En el conjunto arenita + caliza (Figura 11) el histograma presenta distribución bimodal, similar a la distribución en arenitas; la moda principal (50 ppm) representa el 41% de las muestras y la moda secundaria (100 ppm) un 23% de las muestras.

Observando la gráfica de frecuencia acumulada para V en el conjunto arenita + caliza (Figura 15) se aprecian dos quiebres, uno negativo y otro positivo. Tomando el segmento de recta C como población principal normal y prolongándolo hasta su intersección con el nivel de 50%, se determina un valor normal de 47 ppm. El valor umbral de 120 ppm corresponde a la abscisa del centro de la recta C + D y representa la mezcla de las dos poblaciones. Para fines prácticos y para facilitar la delimitación de posibles áreas anómalas, se escogieron los valores de 50 y 100 ppm como valor normal y umbral respectivamente.

En el nivel del 11%, el segundo quiebre es hacia una menor pendiente y corresponde al segmento D o población anómala y es a partir de este nivel (150 ppm) que se presenta una desviación de la

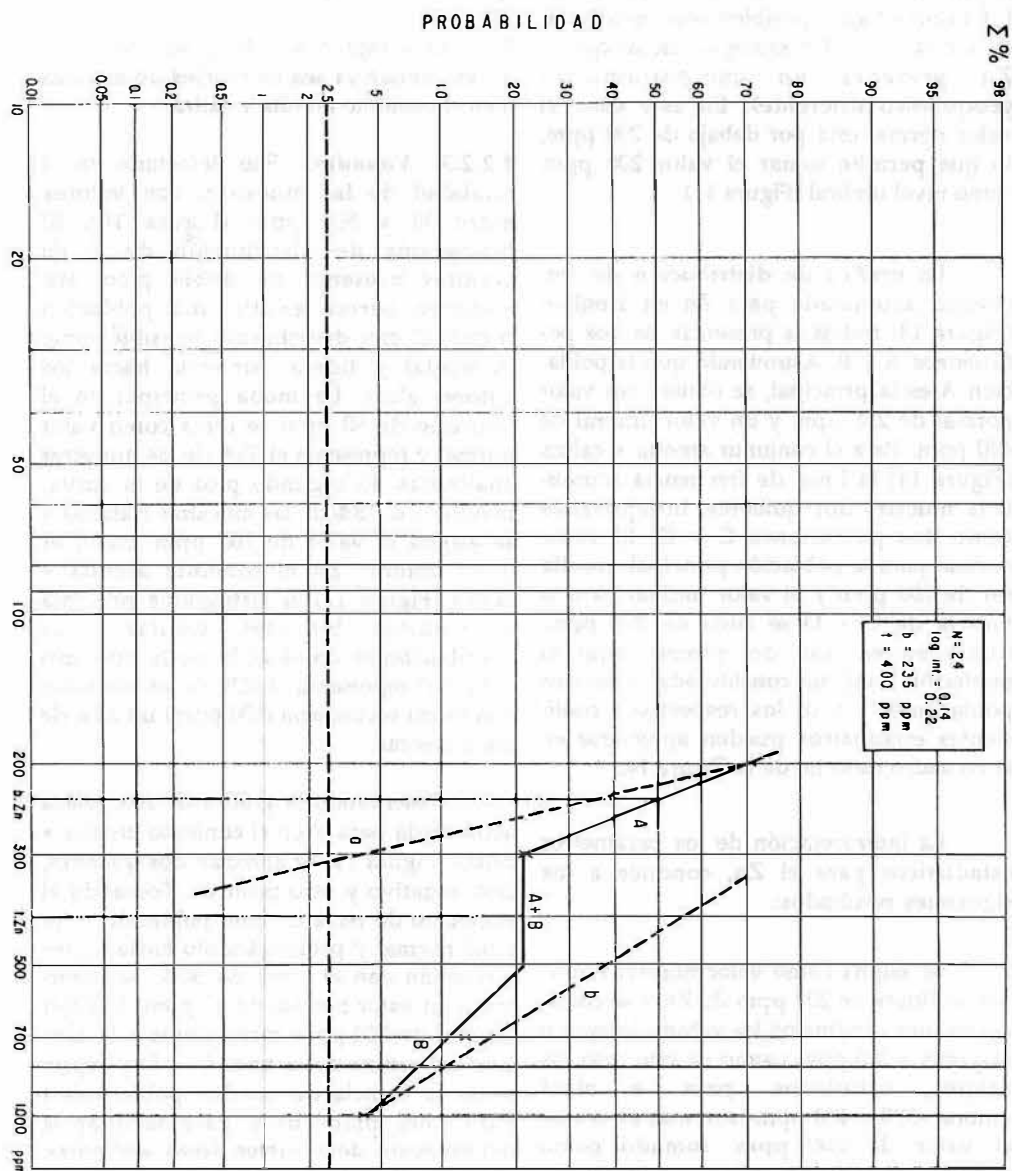


FIG. 13: Distribución de frecuencia acumulada para Zn en arenitas.

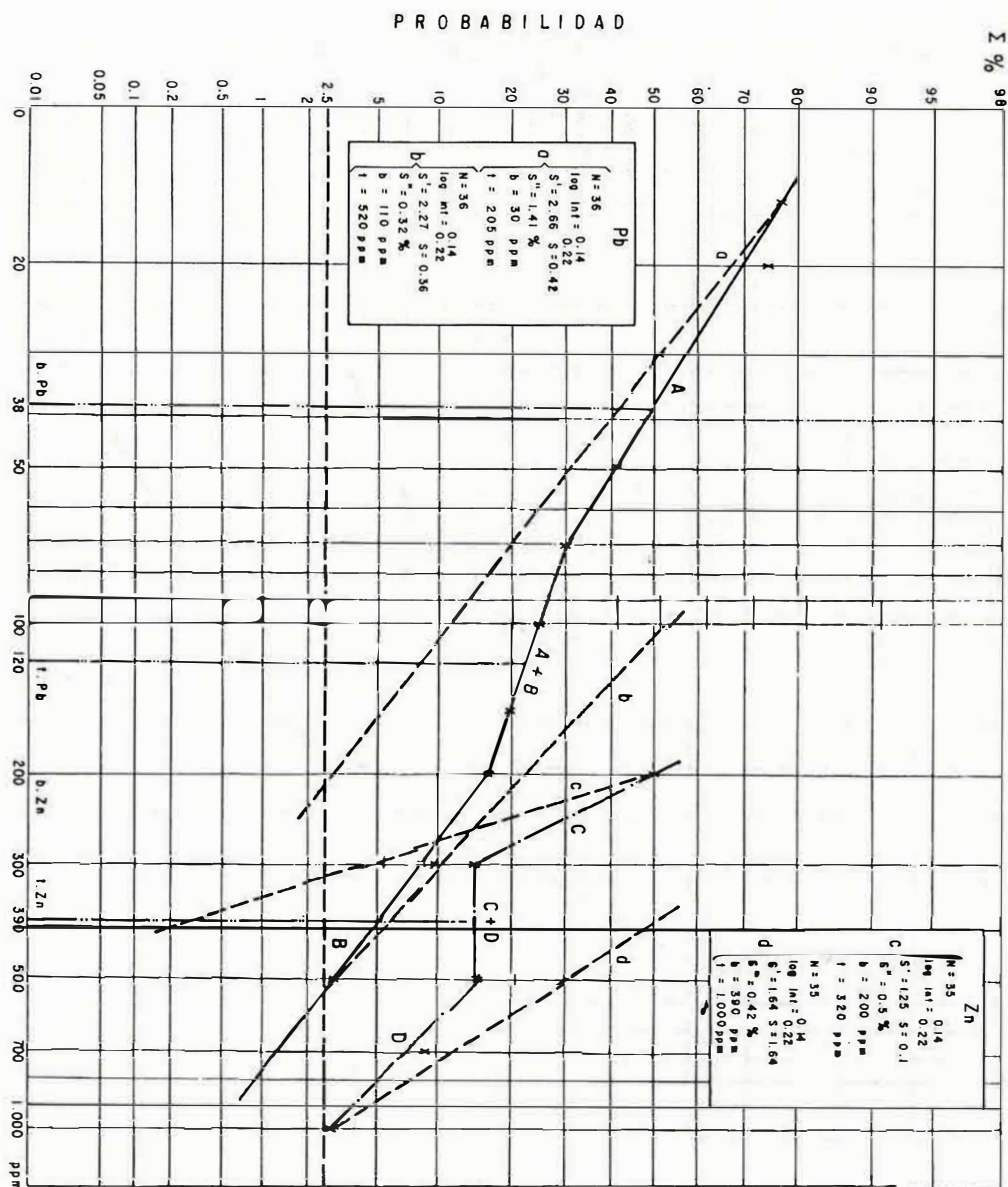


FIG. 14: Distribución de frecuencia acumulada para Pb y Zn. Litología: arenita + caliza.

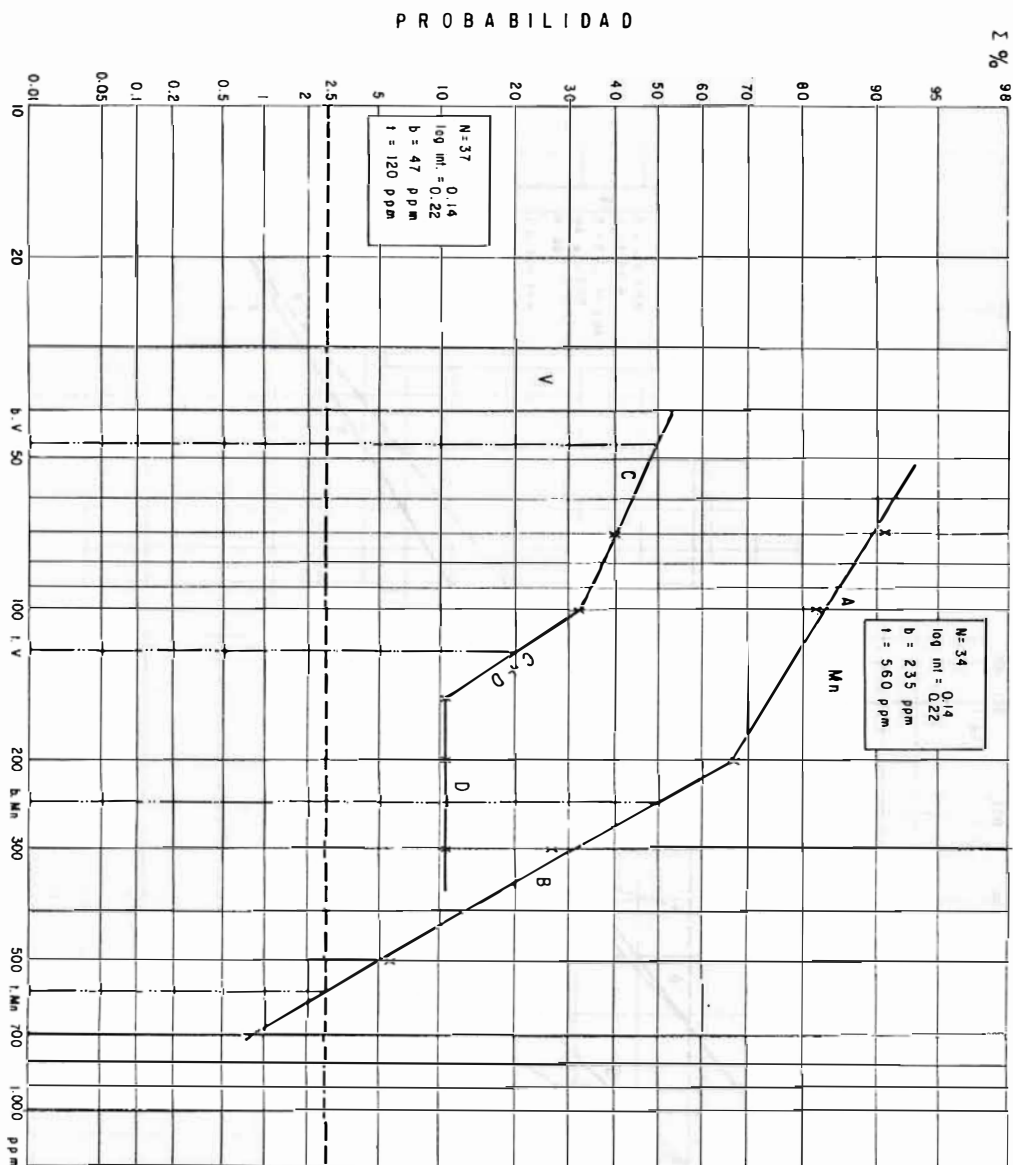


FIG. 15: Distribución de frecuencia acumulada para V y Mn. Litología: Arenita + Caliza.



normal, es decir la población no muestra distribución lognormal. En el supuesto que el cambio en el comportamiento del elemento no esté relacionado a posibles errores por falta de homogeneidad en el muestreo, podemos atribuirlo a influencia del ambiente en que se encuentra, por lo que su distribución responde a una misma causa o estuvo controlada por un proceso similar.

**4.2.2.4. Manganeso.-** El histograma de distribución de Mn en arenitas (Figura 10) presenta dos picos que denotan la presencia de dos poblaciones con modos en los intervalos 100 y 200 ppm. Una de las poblaciones está representada por el 44% de las muestras y a la otra por el 6,6%; significa que la población principal normal tiene su modo principal en 200 ppm, mientras que a la población secundaria le corresponde el modo en el intervalo de 100 ppm.

En el conjunto arenita + caliza, el histograma para el Mn (Figura 11) presenta una distribución sensiblemente unimodal con ligera asimetría hacia los valores bajos. La moda principal con un 42% de las muestras analizadas, está localizada en el intervalo de 200 ppm, valor que puede tomarse como normal y el intervalo de 300 ppm como valor umbral.

En la gráfica de frecuencia acumulada para Mn (Figura 15) la recta A se quiebra negativamente, reflejo de exceso de valores bajos en una distribución lognormal. La recta B posiblemente represente la distribución principal, con valores gráficamente determinados en 235 ppm (valor normal) y 560 ppm como valor umbral. La diferencia en el rango de valores estadísticos para el Mn, permite asignar el valor de 200 ppm como normal y el de 300 ppm como umbral; valores iguales o superiores a 300 ppm se consideran como anómalos.

## 5. PROSPECCION GEOFISICA

### 5.1. OBJETIVOS

Con el propósito de identificar parámetros físicos que sirvan como guía en fu-

turos trabajos de prospección geofísica en ambientes geológicos similares al de Montenegro, se utilizó el método de Polarización inducida y Magnetometría PI-MAG, como herramienta complementaria en la prospección de metales base (Pb-Zn), en secuencias sedimentarias con condiciones geológicas favorables a este tipo de depósitos minerales.

### 5.2. METODOLOGIA

El estudio geofísico alrededor de la zona mineralizada, fue realizado simultáneamente con las actividades de cartografía y prospección litogeoquímica. En un área de 1 km<sup>2</sup> se corrieron cinco transversas de PI-MAG con 900 m de longitud cada una y una línea base con 1.100 m. La dirección de la línea base se hizo coincidir con la dirección del horizonte supuestamente mineralizado (Plancha 5).

Para las observaciones de campo de PI-RES se utilizó un equipo Heinrich-Geoexploration en el dominio de las frecuencias. Tanto en los perfiles transversales como en la línea base longitudinal, se escogió un espaciamiento entre electrodos de 100 m y para cada lectura se emplearon las frecuencias de 0,3 y 3,0 Hz. El estudio magnetométrico se realizó con un magnetómetro Flux-Gate M-700; se necesitaron siete puntos centrales con separación de dipolos de 100 m, y 145 estaciones magnetométricas con separación de 25 m. Ropaín (1980) presenta una mayor información sobre este estudio geofísico.

### 5.3. RESULTADOS

De cuatro parámetros utilizados en la interpretación (porcentaje de efecto de frecuencia PEF, Resistividad RES, Factor metálico FM. e intensidad magnética), la mejor respuesta se obtuvo en los parámetros de PEF y FM. A partir de cinco perfiles geofísicos levantados en dirección perpendicular a la orientación de las capas o de los posibles niveles con mineralización, se pudo estimar el espesor



La interpretación de los resultados geofísicos permitió delimitar tres zonas con características anómalas, dos de ellas con aproximadamente 100 m de espesor, una intensidad de PEF entre 6 y 10 unidades y un factor metálico con rango de valores entre 100 y mayor de 500 unidades (Plancha 5). La tercera zona anómala, corresponde a la línea base (paralela a la dirección de las capas) con 180 a 230 m de longitud, una intensidad de PEF entre 8 y 20 unidades y un factor metálico mayor de 300 unidades, con tendencia a disminuir en profundidad.

Las mayores respuestas de polarización fueron detectadas en la línea base y su correlación con los estudios magnetométricos coinciden bien con las respuestas de intensidad magnética reportadas en ese perfil (ROPAÍN, 1980). Llama la atención el que, en la intersección de la línea base con el perfil N° 1 (sitio de la mineralización) no se registraron valores anómalos en polarización. Este hecho puede atribuirse al enmascaramiento producido por el efecto "Skin Depth", sin embargo, se requiere un análisis geológico más detallado de la zona para poder establecer si con una separación de electrodos más pequeña, es posible obtener respuestas apropiadas para este caso.

En este trabajo la estimación de anomalías de PI corresponde a los valores de PEF y FM detectados, es decir que se trata más de una interpretación cualitativa. Por tanto es necesario disponer también de información cuantitativa, relacionada con el tipo de mineralización, profundidad, tamaño y forma de los cuerpos mineralizados. Desafortunadamente la prospección geofísica se realizó simultáneamente con el levantamiento geológico y la prospección litogeoquímica. Para futuros trabajos es conveniente que primero se estudien las unidades litoestratigráficas del área con el fin de establecer las posibles asociaciones o

relaciones entre estructuras, tipos de roca, secuencia estratigráfica y cuerpos mineralizados.

Bajo este punto de vista, es claro que en depósitos minerales asociados con secuencias estratificadas, reconocer el origen y naturaleza de las facies sedimentarias individuales, puede ser tan significativo que en algunos casos, reconocer este tipo de evidencias, representa tanto como lo son las alteraciones hidrotermales a los depósitos encajados en rocas ígneas y metamórficas; esta situación demuestra y permite apreciar la diferencia de aproximación entre uno u otro programa de exploración.

## 6. EVALUACION DE AREAS ANOMALAS

A partir del sitio de la mineralización y avanzando hacia el sur, se delimitó una zona con un longitud estimada en 2.500 m y un ancho de aproximadamente 500 m (Plancha 5). Corresponde a una franja orientada en dirección NNW-SSE, en la que se registra una superposición de anomalías geoquímica y geofísica y que a su vez está limitada al E por la Falla Loma Redonda y al W por la Falla de Montenegro, dos fallas separadas entre sí 500 m y orientadas en la misma dirección regional.

La franja con las anomalías fue subdividida en tres áreas anómalas, identificadas como anomalías de Montenegro (A), Los Verdes (B) y Alto Bravo (C). La ubicación de los puntos anómalos, permite deducir una estrecha asociación de las anomalías con determinados horizontes estratigráficos de la secuencia sedimentaria cretácea.

Las tres áreas definidas como anómalas, lo son para plomo, zinc, vanadio y manganeso; localmente se registraron valores altos en hierro y flúor. Los siguientes valores se consideran como

realmente anómalos en cada uno de los cuatro elementos mencionados:  $Pb \geq 70$  ppm;  $Zn \geq 200$  ppm;  $V \geq 100$  ppm;  $Mn \geq 300$  ppm. En algunos casos se incluyeron valores para  $Fe \geq 3\%$  y  $F \geq 150$  ppm.

La localización y distribución de las áreas anómalas (Plancha 5) puede interpretarse de diferentes formas: que la mineralización está asociada con niveles litológicos diferentes; o que se encuentra restringida a un horizonte de la secuencia, el cual ha sido afectado y desplazado por fracturas y fallas menores orientadas E-W y NE-SW. En razón a que el muestreo se orientó a la toma de muestras sobre líneas que cruzaron la sucesión de estratos y el hecho de que solo se colectaron muestras de algunas de las capas, no es fácil el análisis del comportamiento y tipo de relación entre los elementos metálicos y los sedimentos que los contienen.

## 6.1. ANOMALIA DE MONTENEGRO

La anomalía de Montenegro ocupa una zona que se extiende desde el caño Caja de Agua (sitio de la mineralización) hacia el SSE y tiene como dimensiones: 600 m de largo y 200 a 300 m de ancho. Gran parte de los afloramientos de esta zona corresponden a sedimentitas (arenitas, lodolitas y calcarenitas dolomitizadas) color gris pardo-amarillento y salvo en el nivel mineralizado, no se observaron ni sulfuros, ni rasgos que pudieran atribuirse a procesos de alteración hidrotermal.

La anomalía se definió al encontrarse la superposición de los valores anómalos geoquímicos y geofísicos. El levantamiento geofísico realizado (cinco perfiles y una línea base) cubre solamente el área de la anomalía de Montenegro. La superposición de anomalías se encontró en el perfil L-3 y en la línea base, mientras que sobre el perfil L-4 aparecen dos anomalías geofísicas, una angosta y profunda situada al oeste de la Falla de Montenegro y otra localizada el SSE de la

anomalía sobre la línea L-3 y con la cual se delimitó una faja anómala de 300 m de largo y 100 m de ancho.

Los resultados en muestras tomadas del nivel mineralizado, dan un contenido de Pb y de Zn determinados por absorción atómica, con rangos de 0,016 a 8% y 0,015 a 59% respectivamente. Respecto a otros elementos (Tabla 1) se registraron los siguientes valores máximos: Ag: 24 ppm; Cd: 770 ppm; Mo: 6 ppm; As: 16 ppm; Fe: 7% y Mg: entre 0,03 y 2,9%. En los alrededores y hacia el sur de la mineralización, se registra el siguiente rango de valores: Pb: 10 a 200 ppm; Zn: desde por debajo del límite de detección hasta 500 ppm; V: 50 a 500 ppm; Mn: 50 a 2.000 ppm. Mencionemos de nuevo que en el tratamiento estadístico no se incluyeron los resultados de muestras de shale-lodolita, litologías en las que se obtuvieron valores tan altos como Pb: 100 ppm; Zn: 200 ppm; Mn: 200 ppm; Fe: > 3%, un valor medio de 100 ppm de V y esporádicos valores de Be: 2-7 ppm.

## 6.2. ANOMALIA DE LOS VERDES

La anomalía Los Verdes se localiza 700 m al SE de la anomalía de Montenegro y corresponde a una franja N-S de aproximadamente 500 m de largo por 100 m de ancho (Area B en Plancha 5). Con excepción del vanadio que deja de ser anómalo hacia el extremo N de la franja, el área restante muestra coexistencia de valores anómalos en Pb, Zn, V y Mn. Litológicamente la secuencia está constituida por capas y bancos macizos de arenitas con interposiciones delgadas de lodolitas y esporádicos niveles de calizas y calcarenitas.

En esta área el contenido de elementos metálicos corresponde a los siguientes rangos de valores: Pb: 50 a 200 ppm; Zn: desde por debajo del límite de detección hasta 200 ppm; V: 20 a 100 ppm; Mn: 200-300 ppm. Para el hierro y flúor se alcanzaron valores superiores a 3% y 300 ppm respectivamente.

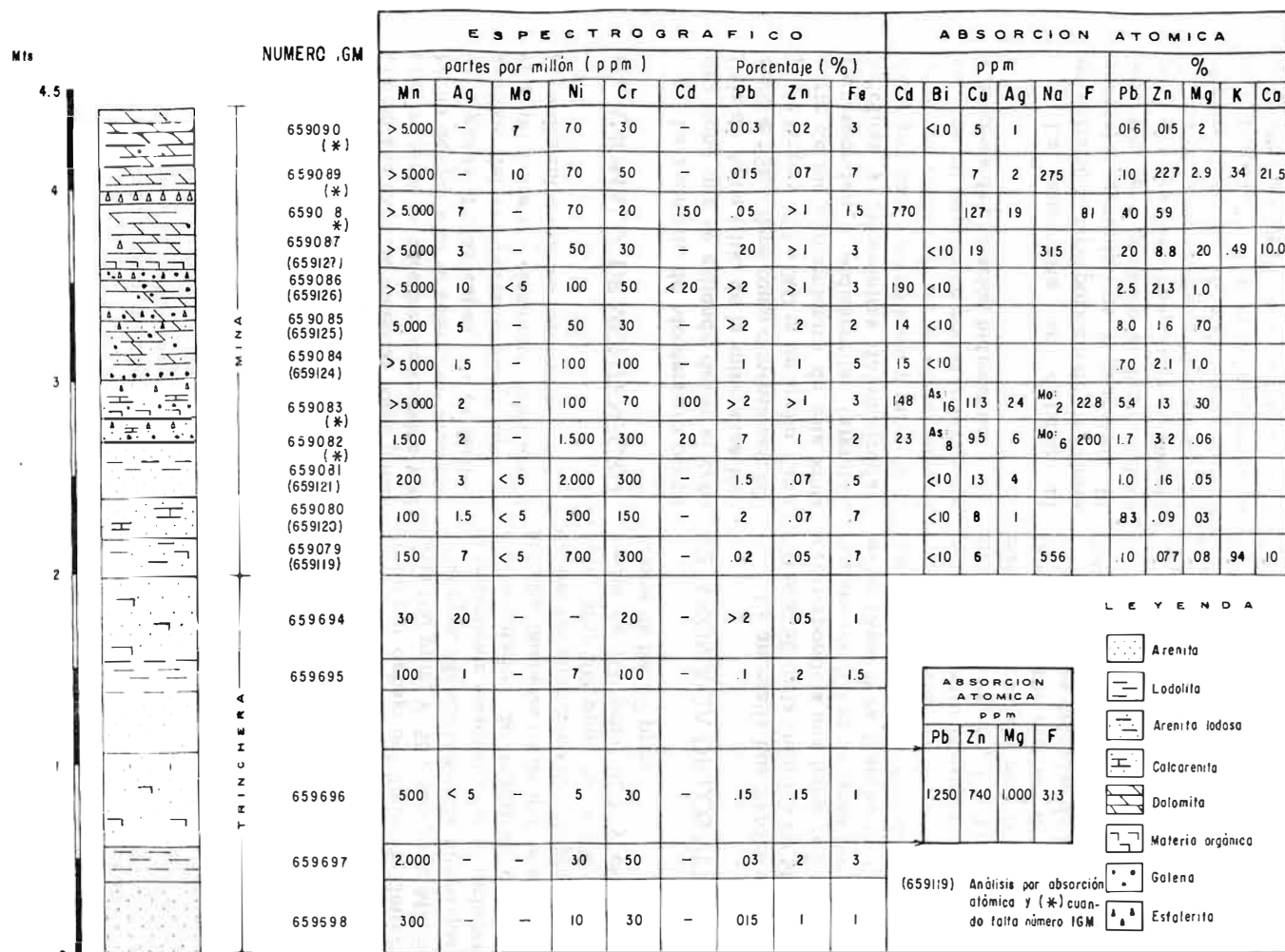


TABLA 1: Relación litología vs contenido elementos mina Montenegro (ver corte geológico Figura 9).

### 6.3. ANOMALIA DE ALTO BRAVO

Localizada al SE de la anomalía de Los Verdes (Area C en Plancha 5) y definida por valores anómalos de Pb-Zn-V en muestras de roca colectadas en afloramientos del escarpe de Alto Bravo. La secuencia litológica (miembro calcáreo-arenoso inferior en Figura 4) está constituida por una alternancia de biomicritas, calcarenitas y arenitas cuarzo-micáceas de grano fino a medio. A esta sucesión infrayace un conjunto de arenitas con aproximadamente 130 m de espesor, que a su vez descansa discordantemente sobre sedimentitas de edad Carbonífero-Pérmico.

De seis muestras colectadas en niveles por encima de la superficie de discordancia, cuatro mostraron valores de Pb entre 150 y 300 ppm. Una muestra de arenita colectada debajo de la discordancia, registró un valor de 500 ppm de Pb. Para el contenido de Zn en las seis muestras colectadas por encima de la discordancia, solo dos presentaron valores de 700 ppm; en las restantes el contenido resultó por debajo del límite de detección de 200 ppm. Muestras de arenitas colectadas inmediatamente encima y debajo de la discordancia son las únicas en las que no se detectó Zn en el área de Montenegro. Respecto a Vanadio y Manganeso solo se registró un valor de 300 ppm de Mn, situación que contrasta con la relación V-Mn y Pb-Zn establecida en las otras dos áreas anómalas y que podría tener gran significado desde el punto de vista geoquímico. El análisis de tres muestras registró valores de flúor mayores a 300 ppm y valores de cobre entre 100 y 300 ppm.

La apreciación global del área estudiada, nos permite confirmar la importancia de la geología de rocas en la geología económica. Es la razón para que cualquier programa de exploración de metales base en unidades estratificadas, tenga que concebirse sobre la base de una

reconstrucción del ambiente de deposición de la secuencia que contiene la mineralización "... It is appropriate to note that nonstructural oil traps and stratabound ore traps have many features in common" (CALLAHAM, 1964). En el caso del zinc, Wedow *et al* (1973) consideran que su exploración requiere de técnicas especiales, y éstas no han sido investigadas suficientemente o han sido descartadas sobre la base de investigaciones teóricas con poco estudio experimental.

## 7. VARIACION Y DISTRIBUCION DEL CONTENIDO DE ELEMENTOS EN LA COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE MONTENEGRO

La integración de secciones columnares levantadas en diferentes sitios del área de Montenegro, permitió elaborar una columna estratigráfica generalizada en la que se representan aproximadamente 600 m de sedimentitas cretácicas (Figura 3).

Para este trabajo, la secuencia fue subdividida en cinco conjuntos o miembros litológicos; sobre cuatro de ellos se realizó el muestreo litogeoquímico. Los valores geoquímicos considerados como interesantes, aparecen restringidos a un horizonte de aproximadamente 300 m de espesor (miembros B, C y D) constituido por arenitas, calcarenitas, micritas, biomicritas, limolitas y lodolitas-shale.

El miembro calcáreo arenoso inferior B (Figura 4) presentó valores anómalos en Pb: 50 a 300 ppm; valores altos en Cu: 100 a 300 ppm y en Sr: 700 a 1.000 ppm, encontrándose una estrecha relación del Sr con los niveles de roca calcárea. En el miembro arenoso-lodoso ligeramente calcáreo C (Figura 5) los valores de Pb varían entre 50 y 200 ppm; el

contenido de Cu disminuye, mientras el de Fe varía entre 2 y 5%. El comportamiento y variación del Zn es menos evidente, debido a la baja sensibilidad del método analítico utilizado y en parte a la mayor movilidad del elemento en un ambiente de oxidación como el que se aprecia en el área de estudio.

En el miembro arenoso-lodoso superior D (Figura 6) se registra la mayor variación en los valores del Pb, con un rango entre 10 ppm y 8% en el nivel mineralizado. Además se presenta una sensible disminución en el contenido de Pb en las arenitas y calizas, registrándose valores con promedio de 30 ppm, mientras que en los niveles de lodolita el contenido alcanza valores de aproximadamente 100 ppm. En niveles con alto contenido de Fe (3-15%), se registran valores máximos de Mn: 2.000 ppm; V: 300 ppm; Cu: 500 ppm y Zn: 1.500 ppm.

El contenido geoquímico en la secuencia litoestratigráfica estudiada demuestra la importante asociación entre la litología y el elemento, situación que conlleva a la necesidad de considerar parámetros tales como: textura, estructura interna, sistemas de diaclasas, grado de fracturamiento y en general el conjunto de propiedades físico-químicas inherentes a las rocas: tamaño de grano, porosidad, permeabilidad, porcentaje de matriz, empaquetamiento de granos, presencia de materia orgánica, grado de compactación, de cementación, etc.

## 8. ORIGEN DEL DEPOSITO

La mineralización de Montenegro presenta una mineralogía simple: Pb-Zn como sulfuros principales y elementos menores como Cd - Ag - Ni - Co - Ba - F - V. La mineralización y áreas anómalas están restringidas a un horizonte estratigráfico del Cretáceo inferior y asociada a las facies arenosa y calcárea de sedimentitas forma-

das en un ambiente marino de aguas someras. La existencia de una paleosuperficie (discordancia Paleozoico-Mesozoico) implica un posible control sobre la distribución de facies y formación de trampas sedimentarias. Un fracturamiento menor y zonas de fallas mayores están afectando los diferentes sitios del área mineralizada. Regiones localizadas al suroeste y sureste del área de Montenegro, presentan sistemas de venas y material brechoide que contiene galena y esfalerita. Estas acumulaciones de sulfuros ocurren en diferentes litologías, generalmente localizadas en niveles estratigráficamente más altos que el de Montenegro.

Por simple analogía con los depósitos tipo Mississippi Valley, es interesante registrar un conjunto de características reconocidas en depósitos económicos de diferentes partes del mundo. Para dilucidar el posible origen de las mineralizaciones de metales base, es importante entrar a considerar los rasgos que constituyen evidencia diagnóstica en cada depósito mineral. Como hipótesis de trabajo, sujeta a ser confrontada y modificada en la medida que las evidencias geológicas lo determinen, podemos referirnos a algunos de los procesos involucrados en el posible modelo de depósito aplicable a la mineralización de Montenegro.

1. Existencia de áreas continentales positivas (paleoaltos) sometidas a procesos de meteorización química y física, que aportaron parte del contenido metálico hacia la cuenca de sedimentación.
2. Presencia de condiciones paleoclimáticas, interrelacionadas al estado de madurez alcanzado por el (o los) ciclo de erosión durante el Jurásico - Cretáceo inferior, situación bajo la cual los iones metálicos pudieron ser transportados, más por procesos de absorción sobre partículas de arcilla, que por procesos de transporte mecánico.

3. El alto background geoquímico, en un horizonte litológico con más de 200 m de espesor, sugiere enriquecimiento y posible movilización de iones metálicos por procesos sin o post-diagenéticos, acompañados de expulsión de aguas connatas desde la parte interna hacia los bordes de la cuenca de sedimentación.

4. En varios sitios de la Cordillera Oriental, diferentes tipos de mineralizaciones, han sido relacionados con actividad magmática en tiempos del Jurásico (SILLITOE *et al*, 1982) y Cretácico inferior (MENDOZA y JARAMILLO, 1979; POLANIA, 1983). Cuerpos ígneos que cortan sedimentitas del Cretáceo inferior en la Cordillera Oriental (FABRE y DELALOYE, 1983), pudieron aportar elementos volátiles y el alto flujo de calor, motor fundamental en la reactivación y formación de salmueras. En esta forma pudo favorecer la removilización, transporte y redepositación de metales en respuesta y condiciones físico-químicas de la secuencia sedimentaria. Este mecanismo estaría relacionado a procesos tafrogénicos o de distensión y al subsecuente desarrollo de cinturones mineralizados, en áreas estructuralmente débiles de la Cordillera Oriental.

5. Durante la orogenia andina, pudieron generarse gradientes hidrodinámicos anómalos, situación que contribuyó a una nueva migración de metales hacia algunas de las mineralizaciones preexistentes, aumentándose en ésta forma el grado de concentración del protore original. Si éste fuere el caso, las mineralizaciones deben considerarse como epigenéticas y resultado directo de orogénesis, con posibilidad de superposición de nuevos cinturones mineralizados y controlados por procesos tectónicos (MENDOZA-FORERO, 1983). La concentración de elementos metálicos en algunos horizontes de la secuencia litológica, podría ser el resultado de la repetición de eventos, en los que se presentó coincidencia entre el movimiento de las salmueras y complejos clorurados y su encuentro con azufre en estado reducido.

Esta hipótesis sobre el origen de las mineralizaciones de metales base en la Cordillera Oriental, en parte puede adaptarse a modelos de depósito ya establecidos; sin embargo, es preciso atender la sugerencia de Gustafson and Williams (1981) en el sentido que "... history shows that genetic classifications tend to be of transient acceptability".

Respecto a los depósitos de Pb-Zn en rocas calcáreas, el origen y distribución de los mismos, ha sido más relacionado a procesos sedimentarios normales, que a procesos ígneos, por lo que se ha sugerido el término "Sedimentogénico" cuando se quiere enfatizar en el aspecto sedimentario de estos depósitos (SANGSTER, 1976, p. 454). Otros investigadores consideran los depósitos de Pb-Zn como formaciones polícronas y poligénicas, que tienen en común un extenso período de formación y un cambio radical en su mineralización desde la etapa inicial a la final (SMIRNOW, 1977). En la concentración de metales en una cuenca de sedimentación, el factor paleoclimático y los procesos de meteorización son tan importantes que, según Samama (1971, p. 255) "... have controlled geochemistry of the terrigenous formation, changing with time in the same place".

La importancia de los depósitos de Pb-Zn en rocas de carbonatos, queda demostrada al ser éstos la principal fuente de los dos metales. Este es el caso que se registra en los distritos mineros de Tri-State, Southeast Missouri, Appalachian y Upper Mississippi Valley en USA y en los distritos de Los Alpes, Silesian, Central Irish Plain y Pennines en Europa y Gran Bretaña.

## 9. CONCLUSIONES

1. Una secuencia de sedimentitas con 300 m de espesor, localizada 150 m por encima de una superficie de discordancia, contiene niveles litológicos con

valores geoquímicamente anómalos en elementos como Pb-Zn-V-Mn-Fe y F.

2. De tres áreas con anomalías geoquímicas identificadas, la de Montenegro parece ser la más interesante, teniendo en cuenta la presencia del nivel mineralizado, y porque muestra varios sitios con superposición de anomalías geoquímica y geofísica.

3. Las áreas anómalas fueron definidas con base en los siguientes valores: Pb  $\geq$  70 ppm; Zn  $\geq$  200 ppm; V  $\geq$  100 ppm; Mn  $\geq$  300 ppm; y Fe  $\geq$  3%. Por analogía con los valores reportados por Vine and Tourtelot (1970), Wedepohl (1971), Wedow *et al.* (1973) y Connor and Shacklette (1975), se puede deducir que el área estudiada presenta condiciones y un potencial para recursos de Pb - Zn.

4. Respecto a la distribución litológica, el Pb muestra cierta preferencia por las rocas calcáreas, mientras el Zn se comporta indistintamente. A partir del valor 150 ppm, el vanadio no se ajusta a la distribución lognormal, comportamiento que posiblemente obedece a un mismo proceso dominante. El mayor enriquecimiento en Mn se registra en el sitio de la mineralización.

5. El estudio de polarización inducida y magnetometría condujo a la delimitación de tres franjas con valores anómalos en los parámetros de porcentaje de efecto de frecuencia (PEF) entre 6 y 20 unidades y factor metálico (FM) entre 100 y 500 unidades. Sitios que presentan altos magnéticos, indicarían la variación de susceptibilidad magnética en las rocas del basamento o la presencia de la superficie de discordancia en profundidad.

6. La mineralización de Pb-Zn de Montenegro presenta características comunes a los depósitos tipo Mississippi Valley y depósitos tipo Carbonate-Hosted Lead-Zinc. La mineralización se encuentra

como reemplazamientos en niveles parcialmente dolomitizados y cerca a los contactos entre capas. También como relleno de grietas y cavidades en rocas afectadas por sistemas de diaclasas y microfracturas.

7. Los resultados geoquímicos permiten sugerir que además de Pb y Zn, se use el vanadio y manganeso como elementos guía (Pathfinder) en la prospección de metales base en la región. Para el nivel mineralizado la relación Pb:Zn es de aproximadamente 1:5.

8. Situaciones de ambiente geológico similar al del área estudiada, pueden encontrarse en zonas adyacentes, especialmente hacia el sur, donde antiguamente se explotaron filones de Pb en una secuencia de arenitas-lodolitas localizada en niveles estratigráficamente más altos de unidades litológicas del Cretáceo inferior.

9. De los factores geológicos que intervinieron en los procesos de mineralización, las trampas estratigráficas y estructurales parece que ejercieron un importante control en la localización de las estructuras mineralizadas.

## 10. RECOMENDACIONES

La región de Montenegro (Provincia de García Rovira, Santander) presenta características geológicas y geoquímicas favorables para la concentración de metales, principalmente plomo y zinc. Considerando la factibilidad del potencial de recurso mineral, dado el ambiente geológico favorable, y que las evidencias muestran la ocurrencia de una mineralización en sentido amplio, se puede continuar con el análisis de los modelos genéticos relacionados con este tipo de recurso mineral, tal como lo sugieren Taylor y Steven (1983).



Con el propósito de identificar rasgos geológicos estrechamente asociados con los procesos de formación de un depósito mineral y a la vez establecer los criterios y guías que permitan orientar la exploración de metales base en ambientes geológicos similares al de Montenegro, se recomienda continuar la investigación detallada (Fase II) realizando entre otras las siguientes actividades:

Levantamiento estratigráfico de las unidades litológicas del Carbonífero, Pérmico y Cretáceo inferior. Identificar posibles horizontes evaporíticos, como fuente importante de azufre, indispensable para la precipitación de los sulfuros.

Continuar con el estudio paleoambiental de la región, para reconocer las evidencias superficiales más significativas y analizar la distribución vertical (tiempo) y horizontal (paleogeografía) de los elementos metálicos considerados.

Adelantar el estudio tectónico - estructural, identificando sistemas de fracturas y diaclasas que permitan determinar direcciones de esfuerzos, zonas de cizalla y otros rasgos tectónicos, asociados a ciertas fases de deformación y con las cuales pueden estar relacionadas las mineralizaciones. En caso que las mineralizaciones muestren control tectónico, se podría intentar su ubicación dentro de un esquema paleogeográfico y estructural definido.

Continuar la implementación de métodos geofísicos (polarización inducida - sísmica - magnetometría - gravimetría) que permitan conocer las variaciones en las propiedades de las rocas, que aporten la información más indicativa sobre los posibles cuerpos mineralizados y además se constituyan en soporte lógico para la planificación de la prospección.

Desarrollar un programa de orientación geoquímica, complementado

con el uso de métodos colorimétricos de campo, con el propósito de disponer de datos analíticos inmediatos, que permitan agilizar y orientar el muestreo geoquímico.

- Establecer el grado de importancia que, como nivel guía de exploración regional le corresponde a la superficie de discordancia Paleozoico-Mesozoico, posible sistema de conducción al paso de soluciones y salmueras con su contenido metálico. El análisis espectrográfico de la muestra IGM-659643 (arenita colectada en capas por debajo de la discordancia) registró los siguientes valores en ppm; Pb: 500; Cu: 700; Cd: 200; Ba: 7.000.

Considerando la galena y pirita como los minerales del depósito que responden a métodos eléctricos de prospección, se sugiere realizar un levantamiento gravimétrico con el fin de delimitar la distribución del cuerpo con sulfuros, ubicar con buena aproximación los sitios de perforación y tener idea acerca del probable volumen del mineral.

Además de V y Mn, usar el flúor como elemento guía en la prospección de Pb - Zn. Dieciocho muestras de roca analizadas para F registraron un valor medio de 300 ppm. En algunos depósitos de Pb-Zn se ha encontrado una estrecha relación entre Zn y F (GROTJOHANN, 1978).

En este trabajo, los valores tomados como anómalos se consideran bastante representativos de halos o anomalías primarias. Por el momento y en el estado actual de conocimiento, el área de Montenegro presenta condiciones geológicas que justifican adelantar programas de exploración para metales base. Respecto a las áreas adyacentes, hasta tanto no se intente una evaluación aproximada, es difícil establecer el grado de aproximación en cuanto al potencial de recurso se refiere.

## 11. BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA, C. E., 1960.- Estratigrafía de García Rovira. Bol. de Geol. UIS (Bucaramanga) (5): 33-39.
- BERNARD, A. J., 1971.- A review of processes leading to the formation of mineral deposits in sediments. In: Ores in Sediments.
- CALLAHAN, W. H., 1964.- Paleophysiographic premises for prospecting for strata Bound metal deposits in carbonate rocks: CENTO Symposium. Turkey, p. 191-248.
- CONNOR, J.J. and SHACKLETTE, H.T., 1975.- Background Geochemistry of some rocks, soils, plant and vegetables in the conterminous United States. U.S. Geol. Surv. Prof. pap. 574F.
- FABRE, A. y DELALOYE, M., 1983.- Intrusiones básicas cretácicas en las sedimentitas de la parte central de la Cordillera Oriental. Geología Norandina (6): 19-28. Bogotá.
- GROTJOHANN, H., 1978.- Die Korrelation von Geochemie und Fazies differenzierung im erzhoefigen Muschelkalk (Mitteltrias) der Ostalpen.
- GUSTAFSON, L. and WILLIAMS, N., 1981.- Sediment-Hosted Stratiform deposits of Copper, Lead and Zinc. Econ. Geology 75th Anniversary volume. p. 139-178.
- HAWKES, H.E., 1954.- Geochemical prospecting in the Nyebe Lead-Zinc District, Nigeria, Geol. Surv. Bull. 1000-B.
- JARAMILLO, L. y TELLEZ, N., 1972.- Geoquímica de García Rovira (Departamento de Santander y Boyacá). INGEOMINAS. Inf. 1619. 67 p.
- JULIVERT, M., 1960.- Geología de la región occidental de García Rovira (Cordillera Oriental, Colombia). Bol. de Geol. UIS (Bucaramanga) (3): 15-33.
- LEPELTIER, C., 1969.- A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation: Econ. Geology V 64, p. 538-550.
- MENDOZA, H. y JARAMILLO, L., 1979.- Geología y Geoquímica del área de California, Santander. Bol. Geológico XXII (2): 1-52. Bogotá.
- MENDOZA-FORERO, H., 1981.- Mineralizaciones estratoconfinadas de metales básicos en la Cordillera Oriental de Colombia. Tercer Congreso Colombiano de Geología, Medellín (Resúmenes, p. 52).
- 1983.- Distribución y metalogénesis de los depósitos minerales de la Cordillera Oriental de Colombia, entre los 4° y 9° Latitud Norte. 10a. Conferencia Geológica del Caribe, Cartagena (Resúmenes, p. 53).
- POLANIA, J.H., 1983.- Mineralizaciones de Uranio y otros metales en California (Santander del Sur). Geología Norandina (6): 57-65. Bogotá.

- ROPAIN, C., 1980.- Estudio preliminar de polarización inducida y magnetometría en mineralizaciones de fracturas. Area de Montenegro (Santander) INGEOMINAS (Documento interno).
- SAMAMA, J.C., 1971.- Ore deposits and continental weathering: a contribution to the problems of geochemical inheritance of heavy metal contents of basement areas and of sedimentary basins. In: Ores in sediments.
- SANGSTER, D.F., 1976.- Carbonate-Hosted Lead-Zinc deposits. In: Handbook of stratabound and stratiform ore deposits. K.H. Wolf (ed) v.6 p. 447-456.
- SILLITOE, R. *et al*, 1982.- Setting, characteristics, and age of the Andean porphyry copper belt in Colombia. Econ. Geol. V. 77, p. 1837-1850.
- SMIRNOW, V. J., 1977.- Factor of time in formation of stratabound ore deposits In: Time- and Strata-Bound ore deposits. Klemm and Scheneider (ed) N.Y. pp. 3-18.
- STIBANE, F. y FORERO, A., 1969.- Los afloramientos del Paleozoico en La Jagua (Huila) y Río Nevado (Santander). Geol. Col. (6): 31-66. Bogotá.
- TAYLOR, R.B. and STEVEN, T.A., 1983.- Definition of mineral resource potential. Econ. Geology. V. 78, p. 1268-1270.
- VARGAS, R. *et al*, 1976.- Geología del Cuadrángulo I-13, Málaga. INGEOMINAS. Inf. 1712.
- VINE, J. D. and TOURTELOT, E. B., 1970.- Geochemistry of Black shale deposits-A Summary Report. Econ. Geology V. 65, p. 253-272.
- WARD, D. *et al*, 1970.- Recursos minerales de parte de los departamentos de Norte de Santander y Santander. Bol. Geol. V. 18 (3): 140 p.
- WEDEPOHL, K.H., 1971.- Zinc and Lead in common sedimentary rocks. Econ. Geology V. 66: p. 240-242.
- WEDOW, H. *et al*, 1973.- Zinc In: United States Mineral Resources. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 820. p. 697-711.