

## ASPECTOS PETROGRAFICOS Y METALOGENETICOS DEL YACIMIENTO ARROYO SECO, MICHOACAN.

Ing. Jorge Bustamante García\*  
Ing. David Espinosa Ortiz\*  
Ing. Abel Gasca Durán\*

### R E S U M E N

Las estructuras mineralizadas de Arroyo Seco, Estado de Michoacán se encuentran emplazadas al norte (área Los Alacranes) en una secuencia de areniscas, limolitas, lutitas, tobas y areniscas tobáceas y al sur (área El Zapote) en limolitas, tobas andesíticas y areniscas finas.

Estructuralmente la región se encuentra en el flanco oriental de un anticlinal cuyo eje tiene una dirección aproximada norte-sur; existen fallas submeridionales que corresponden a la del arroyo Arroyo Seco y a la del Arroyo El Zapote, que fragmentan al yacimiento en sectores estructurales, morfológicos y genéticamente diferentes. Además se presentan en la porción norte del yacimiento, varias fallas y fracturas de carácter complejo que desplazan los horizontes mineralizados.

En la porción norte (área Los Alacranes), las alteraciones que presenta son relativamente esporádicas y bastante erráticas, mientras que en el sector sur (área El Zapote), se presenta cloritización intensa en la roca encajonante junto con el desarrollo de epidotización moderada que en ocasiones pasa a propilitización.

Se reconocieron diferencias texturales tanto megascópica como microscópicamente, para las mineralizaciones que se presentan al norte, como al sur del área. Al norte predominan texturas bandeadas y subbandeadas por planos de pseudo-estratificación, texturas de disseminación laminar y cementadas más propias probablemente de procesos de sedimentación y diagénesis. En cambio al sur del área se observan texturas masivas, en vetillas de intercrecimiento y emulsiones de calcopirita en esfalerita, lo que es indicativo de un proceso exhalativo más intenso, con presencia de vulcanismo más persistente. (Figura 4).

Por medio de la microonda se detectó la presencia de plata, en minerales tales como la tetraedrita y/o freibergita, incluida en la galena y muy esporádicamente como argentita. Entre tanto se observó oro submicroscópico en la red cristalina de la calcopirita, la barita y la hematita.

El estudio de oclusiones fluidas efectuado en cristales de calcita y barita para ambos sectores del yacimiento, apoya la hipótesis de los autores del presente estudio, en el sentido de que la mineralización en el sector norte (Los Alacranes) tiene un carácter sin-diagenético con ocurrencia volcánica moderada, mientras en el sector sur (El Zapote) se produjo una actividad exhalativa-sedimentaria mucho más intensa.

\* Consejo de Recursos Minerales.

En base a más de 50 análisis petrográficos, se estudiaron en detalle núcleos de barrenos, afloramientos y socavones; con la finalidad de entender mejor el comportamiento petrográfico y geológico de las rocas encajonantes del yacimiento. Por otro lado se realizó una correlación de seis barrenos del sector norte del yacimiento, para intentar dilucidar la morfología y el número de los horizontes mineralizados.

Como resultado de todos éstos estudios se concluye que el yacimiento Arroyo Seco presenta por lo menos dos sectores con características diferentes: uno al norte (Los Alacranes), que consiste en una mineralización singenética-diagenética de carácter ritmico y cíclico con ocurrencia volcánica moderada y otro sector al sur (El Zapote, en donde es evidente un proceso exhalativo-sedimentario con apreciable vulcanismo más característico. Este aspecto tiene sus implicaciones y consecuencias prácticas tanto en la exploración detallada como en la evaluación del yacimiento, tal y como se expone en nuestras conclusiones y recomendaciones al final del presente estudio.

#### A B S T R A C T

The mineralization at the north (Los Alacranes) of the Arroyo Seco Edo. of Michoacán is lying in sedimentary rocks such as, sandstones, silstones, shales tuffs, and tuffs sandstones.

However the mineralization at the south (El Zapote) lies into sedimentary and volcanic rocks such as andesitics tuff silstones, and finegrained sandstones. The ore deposit is located in the eastern-flank of an anticinal whose axis has a north-south trend, there're submeridional faults, which correspond to Arroyo Seco and El Zapote brooks, fragmenting the ore deposit in several structural areas, they're morphology and genetically different, whereas at the north of the area there're several complex faults and fractures that displace the ore deposits.

At the north (Los Alacranes) does not exist any evidence of alteration, while in the south (El Zapote), the host-rocks are widely chloritized, the epidotization is also very common, in some places the epidotization becomes in propilitization too.

The mineralization in this two areas exhibits megascopic and microscopically structurals differences in Los Alacranes the ore present banded and subbanded into pseudo-bedding planes, dissemination, cemented, and sheeting textures, these're probably texture due because sedimentation and diagenetic processes.

While at the south there are massive textures in intergrowth veinlets and emulsion of chalcopyrite into sphalerite, which is indicative of a wide exhalative process, with intensive vulcanism. (Fig. 4).

It was found by Microsonda Silver in minerals such as tetraedrite, galena and argentita. It was observed submicroscopic gold in calcopyrite, barytes and hematites.

The study of fluid occlusions made in barytes and calcite of the ore deposit confirms the author's hypothesis in this report, about the mineralization in Los Alacranes is syndiagenetic with few vulcanism, and El Zapote there was a

wide exhalative sedimentary activity.

Fifty samples were studied in Petrography Laboratory with the purpose to understand the petrographic and geological behavior of the horst-rocks. By other hand, we realized a relationship between 6 hole-drill core at the north, to explain the morphology and the number of ore deposits in the area.

All of this studies, can be conclude, that Arroyo Seco ore deposit exhibit two sectors with different characteristics. The first represented at the north by Los Alacranes, which exhibits syndiagenetic mineralization into a rhythmic and cyclic sequence, with moderate volcanic occurrence, and the second in the south (El Zapote) where is evident an exhalative-sedimentary process, with appreciable vulcanism. This aspect has its implications and practicals consequences, but in the exploration and evaluation of the ore deposit, such as we expose in our conclusions and recommendance in the present report.

## I.- INTRODUCCION

Como apoyo a los trabajos de exploración, que realiza El Consejo de Recursos Minerales en el yacimiento Arroyo Seco, Michoacán (70 Km. al sur-oeste de la ciudad de Apatzingán) la brigada de metalogenia asignada a la Subgerencia Zona Centro, realizó un estudio metalogenético de algunas de las estructuras presentes en el área. El estudio incluyó análisis detallados de petrografía, mineralografía, microsonda electrónica, difracción de rayos X y occlusiones fluidas.

La finalidad primordial del estudio metalogenético del yacimiento, es determinar las características mineralógicas, texturales y morfológicas de la mineralización, para conocer el comportamiento del mineral económico y su forma de emplazamiento. De igual manera se intenta esclarecer el origen del yacimiento y las condiciones fisico-químicas que reinaban durante su conformación, así como los diferentes eventos de mineralización y la forma como se presenta la plata en el yacimiento, con fines a su extracción metalúrgica.

## III.- GEOLOGIA DEL AREA

### III.1.- LITOLOGIA REGIONAL.

El área de Arroyo Seco en su secuencia estratigráfica, se encuentra representada por una gran variedad de rocas tanto sedimentarias como rocas volcánicas e intrusivas, con edades que van desde el Cretácico hasta el Terciario.

La secuencia estratigráfica está representada en su base por una serie de areniscas, lutitas y conglomerados del Cretácico Inferior que posiblemente corresponden o sean correlacionables con la Formación San Lucas. Le sobreyaace concordantemente una secuencia de calizas masivas de la Formación Morelos y descansando sobre éstas, tenemos a la Formación Mexcala? representada por una serie de calizas, areniscas y lutitas del Cretácico Medio; en seguida de ésta serie de rocas sedimentarias Cretácicas, tenemos un paquete de rocas igualmente sedimentarias pero Terciarias constituidas por conglomerados, conglomerados, areniscas, lutitas y algunas intercalaciones de rocas volcánicas piroclásticas. Así como en el sector oriental tenemos la presencia de

derrames lávicos de composición andesítica dispuestos entre las rocas sedimentarias del área; igualmente las rocas sedimentarias del Terciario se encuentran intrusionadas por pequeños cuerpos intrusivos de carácter granítico. Los derrames lávicos y los intrusivos se encuentran principalmente hacia la porción oriental del área.

## II.2.- LITOLOGIA LOCAL DEL YACIMIENTO

Mediante el estudio petrográfico de los núcleos de barrenos y afloramientos, se ha podido determinar con mayor precisión la constitución de las rocas intimamente relacionadas con la mineralización.

Según éstos análisis las rocas encajonantes del yacimiento en el sector norte, están constituidas por una secuencia sedimentaria con ocurrencia de vulcanismo no muy abundante. Se trata de una intercalación de areniscas, limolitas, argilitas, lutitas negras, areniscas tobáceas (a veces aglomeráticas), esporádicamente tobas andesíticas y algunos diques andesíticos y dacíticos; ésta secuencia conforma el flanco oriental de un anticinal, cuyo eje se orienta NW-SE.

Las areniscas son de grano fino a medio, de color gris oscuro, verdoso oscuro o gris claro; a veces presenta aspectos texturales conglomeráticos con fragmentos que alcanzan en ocasiones más de 5 cm. Por su composición mineralógica hay variaciones dentro de las areniscas: abundan las compuestas principalmente por feldespato (más de 60%), cuarzo (10-15%), minerales arcillosos (5-10%), micas (5-10%), carbonatos (5%), clorita (5%), minerales accesorios como esferna, algunos anfíboles mal conservados, apatita, etc. (5-10%); lo que en términos generales se trata de una grauwacka. Sin embargo en ocasiones baja mucho el contenido de feldespato y sube el cuarzo, conformándose propiamente areniscas cuarziferas de grano

fino, el cementante por lo general es carbonato y silice con abundante desarrollo de clorita intersticial, con cierta frecuencia se observan fragmentos de roca volcánica de la arenisca. (Lámina II, B y C).

Las limolitas son de grano fino afanítico, de color gris, gris oscuro; al microscopio presentan agregados criptocristalinos de cuarzo y poco feldespato en una masa de material arcilloso y orgánico. (Lámina I A).

Con frecuencia existen fragmentos irregulares y angulosos de lutita negra dando aspecto de microbrecha; ésto es probablemente debido a flujos de turbidez generados por desmoronamientos algo catastróficos (Pettijohn). (Lámina I B).

Las lutitas son de color negro, generalmente masivas, afaníticas, a veces laminares. Al microscopio se componen de cuarzo (10%), feldespato (15-20%), arcillas (50%), carbonato (5%), material orgánico (5-10%) y óxido (5%); es en éstas rocas que se encuentra la mineralización de plata, junto con diseminación de galena, esfalerita y en menor proporción pirita y calcopirita. (Lámina I A y Fig. 2).

Areniscas tobáceas y algunas tobas son observadas en algunos sectores de los barrenos; se trata ante todo de rocas hibridas, con componentes volcánicos y sedimentarios terrígenos. Este tipo de roca indica ocurrencias sedimentarias y volcánicas penecontemporáneas; debido a que no es muy abundante éste proceso en rocas encajonantes del yacimiento, los autores de este estudio pensamos que el ambiente que reinó durante la mineralización fue primordialmente sedimentario aunque hubo ocurrencia exhalativa-volcánica no muy abundante. Al microscopio las tobas de los barrenos se observan con fragmentos subredondeados de material afanítico, en matriz de plagioclasa, material vitreo y arcilloso; hay apatita y esferna como accesorios y presencia de minerales opacos, hay desarrollo de carbonato y poca sericitina por

los feldespatos, se trata de tobas andesíticas de lapilli.

En el sector sur en las inmediaciones de El Zapote, las rocas volcánicas son más abundantes y persistentes. Aquí se encuentra mineralización de sulfuros y barita en andesitas de color verde claro y limolitas, pero en ningún momento en lutitas; abundan los aglomerados, las tobas de lapilli y las andesitas de grano fino a medio.

Al microscopio se observó una toba andesítica de la obra minera de El Zapote, en donde con frecuencia los feldespatos están alterados a epidota y sericitá, lo que presupone que la roca fue sometida a alteración hidrotermal.

### III.3.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El área en general se encuentra representada por un anticlinal cuyo eje se orienta NW-SE. El yacimiento Arroyo Seco se encuentra en el flanco oriental de este anticlinal, siendo afectado por dos fallas principales: una al norte (sobre el cause de Arroyo Seco) y otra al sur (Arroyo Barranca de El Zapote), que presenta una dirección este-oeste. Existen numerosas fallas más pequeñas, pero no menos importantes, que dentro del yacimiento desplazan y afectan completamente a los horizontes mineralizados hasta el punto que pensamos es de suma importancia llevar a cabo estudios de geología estructural detallada dentro del yacimiento, para una mejor y acertada evaluación del mismo.

### III.4.- ALTERACIONES

En el área norte del yacimiento (Sector Los Alacranes), la presencia de alteraciones no es muy abundante. En zanjas y socavones se observó la presencia de algunos carbonatos de cobre, que pudieron ser indicios de una zona de enriquecimiento secunda-

rio ya erosionado; en los barrenos existen sectores a veces fuertemente cloritizados en las areniscas, varias muestras analizadas por difracción de rayos X aportan la siguiente mineralogía:

Para las alteraciones en lutitas de los horizontes mineralizados: cuarzo, feldespatos, calcita, caolinita, dickita, barita, clorita, hidrólicas y hematita.

Para las alteraciones en areniscas: cuarzo, mica, clorita, feldespatos, calcita, anfíboles, carbonato y muy poca caolinita y hematita.

En cuanto al sur del área se refiere (en Arroyo Barranca de El Zapote), la alteración es un poco más conspicua en forma de epidotización dentro de las andesitas. Esta epidotización está muy ligada a una zona con mineralización de sulfuros con valores de plata importantes y bajos contenidos de oro.

Por difracción de rayos X, se obtuvo la siguiente mineralogía para ésta alteración: epidota, calcita, pirita, barita, clorita, feldespato, sericitá (propilitización). Al microscopio petrográfico se observa como la sericitá y el carbonato se desarrollan por fenocristales de feldespato, lo cual indica reemplazamiento de un mineral por otro a causa de alguna actividad hidrotermal; en el socavón El Zapote en la muestra MZAS-7 (toba andesítica), se observa al microscopio abundante epidota en la matriz y reemplazando plagioclásas.

Podríamos afirmar que las alteraciones irregulares y no conspicuas observadas al norte del yacimiento, en relación a la mineralización en lutitas, se debieron probablemente a los efectos de los mecanismos exhalativos hidrotermales que acompañan a la precipitación mineral en los últimos eventos del proceso diagenético, cuando la roca estaba ya relativamente compactada.

En cuanto a la propilitización observada al sur, en La Barranca de El Zapote,

habla por si sola de una gran actividad hipogénica.

#### IV.- MINERALIZACION

La mineralización argentífera del sector norte de Arroyo Seco, se encuentra principalmente relacionada a los horizontes de lutita carbonosa y en menor grado, a las areniscas que encajan éstos horizontes lutíticos. En el sector sur (Arroyo El Zapote), la mineralización se relaciona ante todo a tobas andesíticas y probablemente, areniscas finas cloritizadas (limolitas verdes).

Gracias a los análisis de microsonda, petrografía y mineralografía efectuados para las zonas más mineralizadas; se obtuvieron datos importantes sobre la mineralogía, las texturas, la paragenesis y las características principales de las menas y las rocas encajantes del yacimiento. Para una mayor comodidad en la interpretación hemos dividido el yacimiento en dos sectores: el sector norte, conocido como Los Alacranes y el sector sur con el nombre de El Zapote.

##### IV.i.- MINERALIZACION EN EL SECTOR NORTE (LOS ALACRANES)

Tanto en socavones, como en los barreños, la mineralización en éste sector del yacimiento se encuentra relacionada a los horizontes de lutita y en menor grado a las areniscas. Se observó que por lo general hay predominio de galena y esfalerita en las lutitas mientras que en las areniscas predomina la pirita y la calcopirita.

Estos sulfuros se encuentran finamente diseminados en las rocas y en el caso de las lutitas, se determinó que con frecuencia se encuentran a lo largo de los planos de seudo-estratificación conformando texturas subbandeadas. (Lámina III B, III C y IV A)

Las superficies pulidas analizadas, permitieron conocer mejor los aspectos

texturales de la mineralización en éste sector del yacimiento. Como se puede observar en las microfotografías, la galena y la esfalerita (en las lutitas) tiende generalmente a alargarse y elongarse a lo largo de planos de seudo-estratificación, conformando texturas sub-bandeadoas o interdigitadas con material orgánico y carbonoso; éste aspecto con seguridad sirve para apoyar la hipótesis de una precipitación mineral singenética, con los procesos dia-genéticos que conformaron la lutita. La mineralogía observada al microscópico es: galena, esfalerita, pirita, calcopirita, carbonato, silice, arcillas y material orgánico abundante; también se observó con frecuencia textura de disseminación de sulfuros finos (galena, esfalerita, pirita) en matriz orgánica y carbonosa.

La microsonda electrónica detectó en algunas muestras, evidencias de plata en minerales de la serie tetraedrita, tenantita, argentita esporádica y como finísimas partículas dentro de la recristalina de la galena. También se detectaron contenidos de oro en la asociación barita-calcopirita. (Figura 7).

En varias láminas delgadas analizadas, se observaron minerales opacos de conformación autigena que se depositaron posiblemente durante los procesos de sedimentación de la roca. Al microscopio se detectó la abundante presencia de algunos minerales ricos en hierro dentro de las areniscas, lo que puede estar indicando un ambiente rico en  $O_2$  o  $CO_2$  durante la sedimentación: franjas de hematita, abundancia de glauconita, presencia de ankerita y dolomita férrea en muchas de las areniscas, calcedonía férrea o cornelian en rocas olticas hematitzadas y silicificadas. Por el contrario al carácter orgánico y carbonoso de las lutitas, la presencia de sulfuros diseminados indica su conformación en un ambiente rico en  $H_2S$  y S, en la parte baja de una cuenca de sedimentación. (Láminas IA, IIB, IIC, IIIA y Figura 5).

#### IV.2.-MINERALIZACION EN EL SECTOR SUR (EL ZAPOTE)

En afloramientos y dentro del socavón El Zapote, la mineralización en éste sector del yacimiento se encuentra relacionado a tobas andesíticas y limolitas verdes. Las rocas se encuentran bastante epidotizadas y cloritizadas; la mineralización es relativamente abundante en barita, galena, esfalerita y en menor proporción pirita y calcopirita, presentan sistemas maticamente texturas masivas, de minerales metálicos con relaciones de intercrecimientos de esfalerita en galena y a veces vetillas y asimilación de un mineral en otro, lo que nos habla de su probable conformación en un sistema hidrotermal; se observó también la textura de exolución de soluciones duras de calcopirita en esfalerita, lo que indica que éstos dos minerales se formaron ligeramente uno después del otro evidenciando también un proceso hipogénico prolongado de probable índole hidrotermal. (láminas IVB y IVC).

Físicamente la mineralización en el sector sur, se comporta diferente mente a la del norte. Hay abundancia de vetas (o mantos?) de barita masiva en concordancia con la seudorestratificación de las tobas andesíticas y las limolitas; los sulfuros se presentan en sectores en forma abundante a veces masiva, hay ausencia notable de horizontes de lutitas. Todo ésto evidencia una mineralización ligada fuertemente a ocurrencia hidrotermal, o en su defecto a un proceso exhalativo-sedimentario bastante intenso. (Figura 6).

#### V.- OCLUSIONES FLUIDAS

La evaluación de los datos de oclusiones fluidas en el contexto geológico, constituyen uno de los parámetros de mayor importancia que se consideran en la evaluación de yacimientos minerales. Los datos obtenidos en éste tipo de estudios, en pa-

ralelo con estudios paragenéticos y otras relaciones metalogenéticas, permiten hacer diversas consideraciones sobre la evaluación en el espacio-tiempo de temperaturas, densidad, presión y composición química de los fluidos durante los procesos de mineralización.

Fundamentalmente el estudio de oclusiones fluidas en el área de estudio, se hizo con el fin de comparar los datos obtenidos de las muestras tomadas en los dos sectores en los cuales se ha dividido el área, que el comportamiento textural de la mineralización y lo errático de las alteraciones, hicieron suponer a los autores de éste trabajo como ya se ha mencionado, en que había ciertas discrepancias en los procesos de mineralización, por lo que no consideramos que ambos sectores estuvieran relacionados a un solo mecanismo de depositación.

Los datos obtenidos de los estudios de oclusiones fluidas, han ayudado a apoyar más los conceptos que respecto a la mineralización que se tienen en ambas áreas. Las muestras analizadas corresponden a minerales de calcita - barita, las cuales se tomaron de núcleos de barrenos y de zanjas existentes en el área; las temperaturas obtenidas en éstas muestras tienen un amplio rango ( $100^{\circ}\text{ C}$  -  $260^{\circ}\text{ C}$ ), con valores de salinidad también variables (de 0.87 a 7.85 por ciento) en peso de NaCl equivalente (Figura 3). La gran variación en estos parámetros representa según Samson y Russell (1983), una correlación negativa entre la temperatura de homogeneización y la salinidad y la cual interpretan como la mezcla de un fluido hidrotermal ascendente de alta temperatura, baja salinidad y una salmuera altamente salina fría, casi superficial.

Esto evidencia para nuestra área de estudio que durante el proceso sedimentario del Sector Norte (Los Alacranes), hubo actividad volcánica exhalativa penecontemporánea de bajas proporciones, la cual influyó de alguna manera en el proceso de deposición mineral sindrogenética. (Figura 6).

En el Sector Sur, el aspecto de la mineralización es totalmente contras-tante a la del Sector Norte (como se menciona en capítulos anteriores) y aquí la mineralización está especial-mente relacionada al proceso volcáni-co exhalativo antes mencionado. (Fi-gura 6).

La presencia de pocas oclusiones con fase de vapor, así como la variabili-dad en las proporciones de gas-liqui-do-vapor en la mayoría de las mues-tras, hacen suponer que en este sec-tor probablemente las soluciones hidrotermales ebullieron durante su ascenso, lo cual influyó de manera impor-tante a la precipitación de oro-plata que se han registrado en éste sector.

En el capítulo siguiente se dan aún más detalles de la conformación mine-ral, en cada uno de los sectores y del papel que han jugado éstos flui-dos exhalativos para la mineraliza-ción de cada sector.

#### VI.- DISCUSIÓN ACERCA DE LA MINERALI-ZACIÓN Y SU ORIGEN

Las ideas y concepciones que se van a ver-tir a continuación, se basan en las ob-servaciones realizadas en el área del yacimiento y en el análisis me-gascópico de los núcleos de barrenos y muestras de socavones y afloramien-tos. Por medio de la microsonda elec-trónica, se obtuvo información sobre la mineralogía del yacimiento; con el análisis de superficies pulidas se esclareció el comportamiento textural de las menas y la forma como se pre-sentan los minerales metálicos más impor-tantes: galena, esfalerita, cal-copirita y pirita. En las láminas del gades se estudió la composición de las rocas encajonantes, los minerales de alteración y los minerales de in-do le sedimentario que pueden ser un termómetro en las oscilaciones de la cuenca de sedimentación.

Por medio de la difracción de rayos X

se estudió la mineralogía de las alter-aciones principales, con ayuda de las inclusions fluidas se estudiaron algu-nos factores fisico-químicos que estu-vieron presentes en el proceso de mine-ralización.

En general podemos considerar que en el área de Arroyo Seco, han intervenido al menos dos procesos diferentes de mine-ralización:

a) En el Sector Norte (área Los Alacra-nes), la mineralización se presenta en horizontes de lutitas negras interdigi-tadas con areniscas, limolitas, en menor proporción tobas andesíticas y algunas rocas hibridas, como areniscas tobaceas. La plata y los sulfuros de Pb y Zn se encuentran predominantemente en los ho-rizontes de lutita; el análisis de su-perficies pulidas aportó sistemáticamente las texturas siguientes: bandea-da, laminar, diseminación y desarrol-lo de mineralización por planos de seudo-estratificación (Figura 4).

Con frecuencia se observan al microscopio bandas de esfalerita y galena que se elongan en determinada dirección, con espacios entre las bandas compuestas de material orgánico, material arcilloso y limo muy fino; la mineralización es muy fina, del orden de 0,05mm. Por tam-año de grano de sulfuros. Megascópicamente tanto en núcleos de barrenos, como de socavones, la presencia de alteraciones impor-tantes o persistentes es muy pobre errática e incipiente; solo esporádicamente se observan vetillas o verillas de carbonato, silice o barita lo que puede indicar baja actividad ignea o hidrotermal (exhalativa). Todos éstos factores aunados a la alternancia de roca mineralizada lutita y roca estéril, podrían apoyar el carácter ciclico de depositación mineral en forma simu-tánea con el proceso de diagénesis (mi-neralización singenética). (Figura 5).

Si consideramos que la sedimentación de las areniscas, limolitas, areniscas to-baceas y lutitas se llevó a cabo en una cuenca lacustre marítima relativamente

cerrada, con una zona superior enriquecida en  $O_2$  y  $CO_2$  y una zona inferior predominantemente reductora (rica en  $H_2S$ ), es muy probable que los iones metálicos aportados por soluciones sulfatadas tiosulfatadas provenientes de los drenajes continentales, además de la aportación de metales a partir de fuentes exhalativas abajo de la cuenca, se hayan precipitado en forma de sulfuros al encontrarse con un ambiente saturado en azufre (zona propicia para la formación de las lutitas). (Figura 5).

En varias láminas delgadas correspondientes a areniscas y limolitas, se observó la presencia abundante de ciertos minerales ricos en Fe que hacen pensar en las condiciones oxidantes que reinaban en la cuenca cuando se depositaron dichas rocas. (Láminas IIB, IIC, IIIA).

En algunas areniscas color café de varios de los barrenos, se detectó abundantes manifestaciones de carbonatos ricos en Fe como la dolomita férrea y la ankerita dentro del cementante; en otras areniscas de color verdoso abunda la glauconita (rica en Fe) como cementante, en el barreno BDAS-5 existe un sector en donde hay hematita olítica cementada por calcedonia de color rojiza rica en Fe y conocida como Cornelean; en otras ocasiones se observan abundantes bandas de hematita roja dentro de las areniscas. Todas éstas manifestaciones minerales ricas en óxidos de Fe, carbonatos de Fe o silicatos de Fe contenidos en éstas rocas sedimentarias indican que en el momento en que se produjo la sedimentación en la cuenca, había un ambiente oxidante propicio para la precipitación de estos minerales; cuando la cuenca se hundía un poco más, alcanzaba los límites de un ambiente reductor más propicio para la formación de lutitas que durante su diagénesis atrapaban los sulfuros que se precipitaban gracias a la acción de los iones metálicos con el azufre. De ésta manera du-

rante las oscilaciones de la cuenca hacia arriba y hacia abajo, se produjo el carácter ritmico y cíclico de los diferentes tipos de rocas sedimentarias y por tanto también de la mineralización que prefirió alojarse en las lutitas ya que el ambiente reductor hacia más favorable la precipitación de sulfuros de Zn, Pb, Fe y Ag. (Figura 5).

La presencia de rocas hibridas en este sector del yacimiento de areniscas tobáceas y tobas no muy abundantes, hace pensar que durante el proceso sedimentario hubo actividad volcánica exhalativa de bajas proporciones, al menos en ésta parte del yacimiento. Es probable que ésta actividad exhalativa haya estado acompañada de fluidos y soluciones ricas en iones metálicos, que junto con las soluciones sulfatadas y tiosulfatadas del continente se combinaron y al llegar a la zona de sedimentación reductora se precipitaron (los iones metálicos), al encontrar un ambiente propicio por la abundancia de azufre. De ésta manera se produjo la mineralización singenética de sulfuros de Pb, Zn, Fe, Cu y Ag durante la diagénesis de las lutitas y las areniscas.

b) En el sector sur del área, conocido como El Zapote, la mineralización tiene otro carácter y sus manifestaciones son muy diferentes a las del sector norte.

En primer lugar las rocas encajonantes acá no son las lutitas, sino tobas antidesíticas y areniscas verdes, lo que evidencia a una mayor actividad volcánica-sedimentaria; el aspecto físico y megascópico de la mineralización es también aquí diferente. Texturalmente es una mineralización a veces de carácter masivo y otras diseminadas en una roca verde propilitizada, hay abundantes vetillas de carbonato y barita y zonas con alta presencia de epidota. En el socavón El Zapote existe un manto de 50 cm. de espesor de barita, con vetillas paralelas y subparalelas que coinciden con los planos de estratificación de las rocas encajonantes.

Al microscópico en superficies pulidas, la mineralización de sulfuros se presenta muy diferente a como se observa en el sector norte. Aquí abundan los intercrecimientos entre la galena y la esfalerita, la vetilla de un mineral en otro, algunos minerales con los bordes corroídos, texturas masivas y de exolución de calcopirita en esfalerita. Todo ésto hace pensar en un proceso hipogénico, o por lo menos exhalativo-hidrotermal muy rico en fluidos mineralizantes que al salir a la superficie en la cuenca vulcanosedimentaria se precipitaron dando origen tanto a la bariita como a los sulfuros. (Láminas IVB y IVC).

Después de estos planteamientos y siguiendo un poco los lineamientos de Stanton (1972), acerca de la mineralización en ambientes sedimentarios y volcánico-sedimentarios (Figura 6); podemos proponer que para el sector norte del yacimiento la localización de la mineralización parece estar especialmente relacionada a un ambiente de sedimentación, en aparente asociación con volcanismo incipiente, mientras en el sector sur del yacimiento la localización de la mineralización está especialmente relacionada a procesos exhalativos-volcánicos con algunas ocurrencias y rasgos específicos de procesos sedimentarios. En base a observaciones de campo, a resultados de laboratorio y análisis microscópicos hemos propuesto un modelo idealizado del desarrollo y conformación del yacimiento Arroyo Seco (Figura 8), con la finalidad de hacer más comprensible su origen.

Nos parece conveniente indicar que el estudio de éste tipo de yacimientos, siempre ha sido sumamente controvertido. Algunos autores (especialmente los americanos en el estudio de los yacimientos tipo Mississippi-Valley), apoyan el carácter epigenético de la mineralización en la mayoría de dichos yacimientos. Otros (especialmen-

te los europeos en el estudio de yacimientos tipo Alpino), son partidarios de la conformación sinsedimentaria o singenética de éstos yacimientos.

Sin embargo en los últimos años, investigadores como Edwards y Atkinson (1986) y Peter Laznicka (1985) en sus monumentales y modernos estudios sobre los yacimientos minerales, apoyan tácitamente lo cierto de lo planteado por Stanton (1972) (Figura 6), en lo referente a las ocurrencias de mineralización en función de la actividad volcánica y/o de los procesos de sedimentación.

En base a ésto podemos decir que cada yacimiento mineral posee características propias que lo hacen diferenciable de los demás, que las variaciones de otro lado son innumerables a la manera de la gama trancisional del arco iris y que la función del geólogo es ubicar aproximadamente dentro de ésta gama el yacimiento que le ha correspondido estudiar.

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.- En base a los estudios petrográficos de los barrenos, afloramientos y obras mineras; se determinó que la porción norte del yacimiento (Los Alacranes) está constituida básicamente por una alternancia de lutitas negras y areniscas (grauwaca), limolitas, areniscas tobáceas y tobas andesíticas en menor proporción. En tanto la porción sur (El Zapote), está constituida primordialmente por tobas andesíticas, andesites, limolitas y areniscas finas bastante cloritzadas y algo epidotizadas.

2.- En base a observaciones de campo, estudios petrográficos y de difracción de rayos X llevados acabo; se observó que en la parte norte del área (Los Alacranes) tanto las rocas encajonantes, como los horizontes mineralizados exhiben alteraciones relativamente erráticas y poco abundantes, mientras que en el sector sur (El Zapote) se observan

alteraciones más conspicuas, como son la cloritización y la epidotización que en algunos sectores pasa a propilitización.

3.- El análisis mineralógico y textural de las menas llevado a cabo en las superficies pulidas, determinó la presencia de minerales tales como galena, esfalerita, pirita, calcopirita, calcita, barita y cuarzo conformando en el sector norte del área texturas sub-bandeadas e interdigitadas con material orgánico y carbonoso, mientras en el sector sur del yacimiento las texturas predominantes son las de exfoliaciones duras (calcopirita en esfalerita), masiva en vetillas, de intercrecimiento y colomórficas la cual apoya la hipótesis acerca de una mineralización exhalativa-sedimentaria singenética en el norte del área y una mineralización de posible ocurrencia volcánica hidrotermal, para el área de la barranca El Zapote.

4.- 24 muestras de zonas mineralizadas analizadas en microsonda electrónica, aportaron la siguiente mineralogía: galena argentífera, argentita, tetraedrita argentífera o freibergita esfalerita, calcopirita, pirita, calcita, cuarzo, barita, esfena, rutilo, material carbonoso y material orgánico. Los minerales argentíferos fueron detectados en algunas de éstas muestras.

5.- Los datos aportados por los estudios de oclusiones fluidas, reflejan que en el sector norte (Los Alacranes), las soluciones hidrotermales jugaron un papel importante para la deposición de la mineralización durante los procesos diagenéticos al interactuar éstas soluciones con las iones metálicos, provenientes del continente en forma de sulfatos, tirosulfatos, cloruros y otras soluciones complejas.

Mientras tanto en el sector sur, la mineralización parece estar ligada especialmente a un proceso volcánico

exhalativo donde es evidente que en alguna etapa de su ascenso, éstos fluidos hidrotermales ebullieron; siendo éste proceso probablemente el que dio origen a la mineralizaciónuroargentífera que se manifiesta en éste sector del yacimiento.

6.- Minerales tales como la glauconita, ankerita, hematita en arenisca, calcedonia férrea y otros detectados en los estudios petrográficos son guías mineralógicas para entender las oscilaciones de la cuenca de sedimentación.

7.- En base a los estudios metalogenéticos realizados hasta la fecha, se puede manifestar que el sector norte del yacimiento (Los Alacranes) tiene una predominancia de ocurrencias sedimentarias singenética, mientras la porción sur (El Zapote) presenta una ocurrencia volcánica más conspicua y abundante.

8.- En éste tipo de yacimiento es importante para una evaluación fehaciente conocer su comportamiento tectónico, por lo tanto es indispensable llevar a cabo en Arroyo Seco un estudio estructural detallado.

9.- Se recomienda en base a los núcleos de los barrenos existentes, llevar a cabo una correlación de los horizontes mineralizados con el fin de determinar si todos ellos corresponden a uno solo o se trata más bien de varios horizontes mineralizados.

10.- Sería conveniente obtener y evaluar los contenidos por Pb, Zn y Cu de las muestras que se han analizado en el laboratorio químico, con el fin de aclarar la verdadera potencialidad del yacimiento.

11.- Se recomienda realizar un estudio de prefactibilidad del yacimiento, con la finalidad de determinar más concretamente si presenta perspectivas reales de ser económico.

## BIBLIOGRAFIA

- Brown, J.S., Editor, 1967, Genesis of stratiform Lead-Zinc-Barita-Fluorita Deposits (Mississippi Valley Type Deposits). A Symposium-Economic Geology.
- Craig, J.R., Vaughan, D.J., 1981, Ore Microscopy and Ore Petrography. John Wiley & Sons. New York.
- Cunningham, Ch. E., 1977, Fluid Inclusion-Geothermometry. Ferdinand Enke Verlag/Stuttgart.
- Edwards Richard, Atkinson Keith, 1986 Ore Deposit Geology and its influence on mineral exploration. -- Londón.
- Folk, R.L., 1969, Petrologia de las rocas sedimentarias.
- Iushko, S.A., 1971, Metodii Lavorator'noe issledovaniya rud (Métodos de investigación metalogenética de las menas en el laboratorio). En ruso. Editorial Nedra. Moscú.
- Lažnicka Peter, 1985, Empirical Metallogeny. Depositional Environments-Lithology associations and metamorphic ores. Amsterdam.
- Ludwing, B., 1976, Introduction to the ore deposits-edit. John Wiley and Sons, New York.
- Magekian, I. G., 1974, Metalogenia. Las principales provincias minerales. En ruso. Editorial Nedra. Moscú.
- Pedersen, F.D., 1980, Remobilization of the massive sulfide Ore of the Black Angel Mine, Central West Greenland. Economic Geology, Vol. 75, pp. 1022-1041.
- Pettijohn, J., 1963, Rocas sedimentarias. Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Picot, P. Johan, T., 1982. Atlas Mineraux Métalliques. Editions R.G.M.
- Roeder, Edwin, 1967, Fluid inclusions - as samples of ore fluids; in: Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits, New York.
- Stanton, R.C., 1972, Ore Petrology: International Series in the Earth.
- Yakovlev, F.D., 1986, Promishlennye tipy rudnyj mestoroshdeniy (Tipos industriales de yacimientos minerales) En ruso. Editorial Nedra. Moscú.

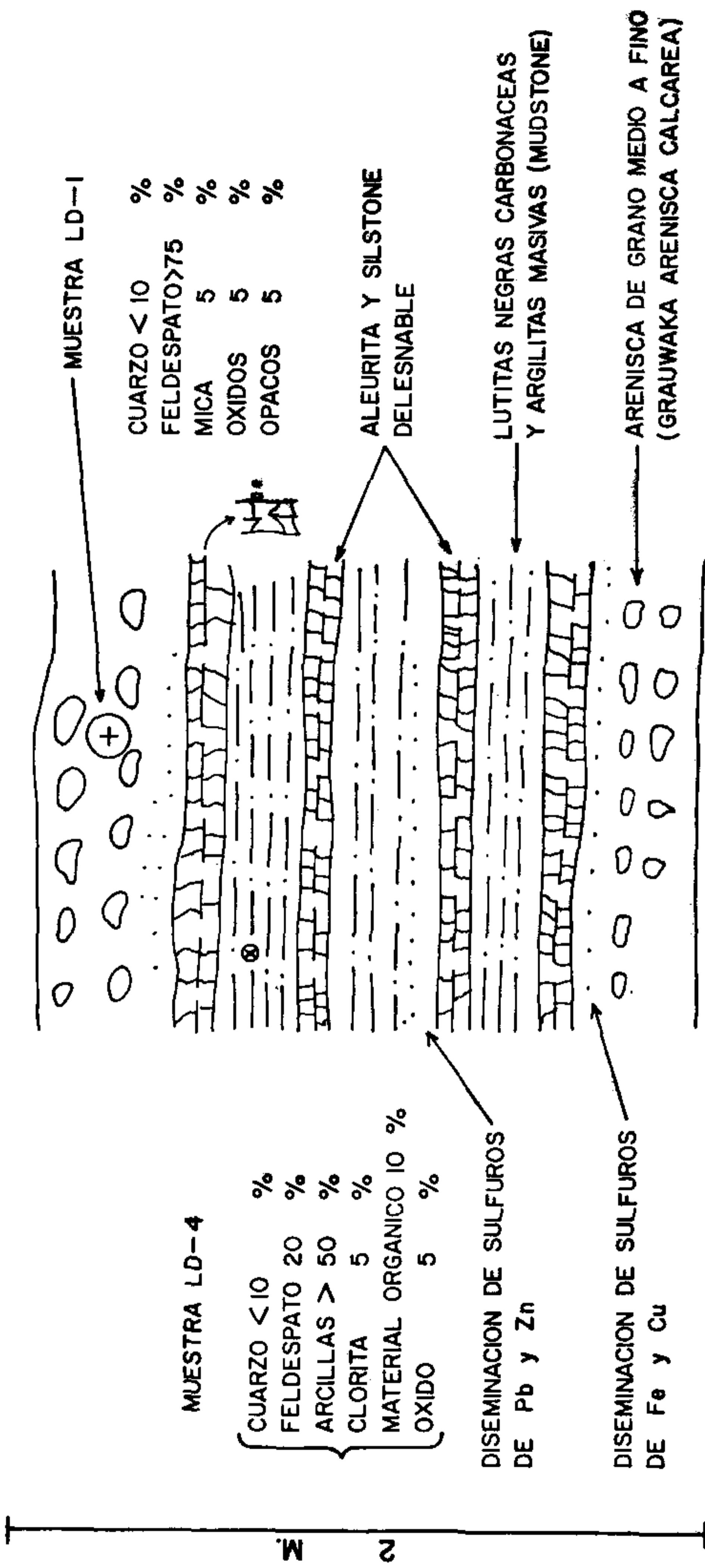


FIG. 2 HORIZONTE MINERALIZADO EN SOCAVON SAN IGNACIO. OBSERVESE LA INTERCALACION DE LUTITAS NEGRAS CARBONACEAS Y ARGILITAS, CON SECTORES DE ALEURITA DELEZnable

## **RESUMEN DE OCLUSI<sup>ON</sup>ES FLUIDAS.**

ROEDDER

# CLASIFICACIÓN NASH

P<sub>s</sub>: PRIMARIAS  
P<sub>s</sub>: PSEUDOSECONDARIAS  
S<sub>s</sub>: SECUNDARIAS

I = LIQUIDO PREDOMINANTE	$T_h$ = TEMPERATURA DE HOMOGENEIZACION (L-V)
II = GAS PREDOMINANTE	$T_m$ = TEMPERATURA DE FUSION DEL MINERAL HIJO
III = LÍQUIDO - GAS - SOLIDO	$T_{fc}$ = TEMPERATURA DE FUSION AL CONGELAR.

**Figure-3**

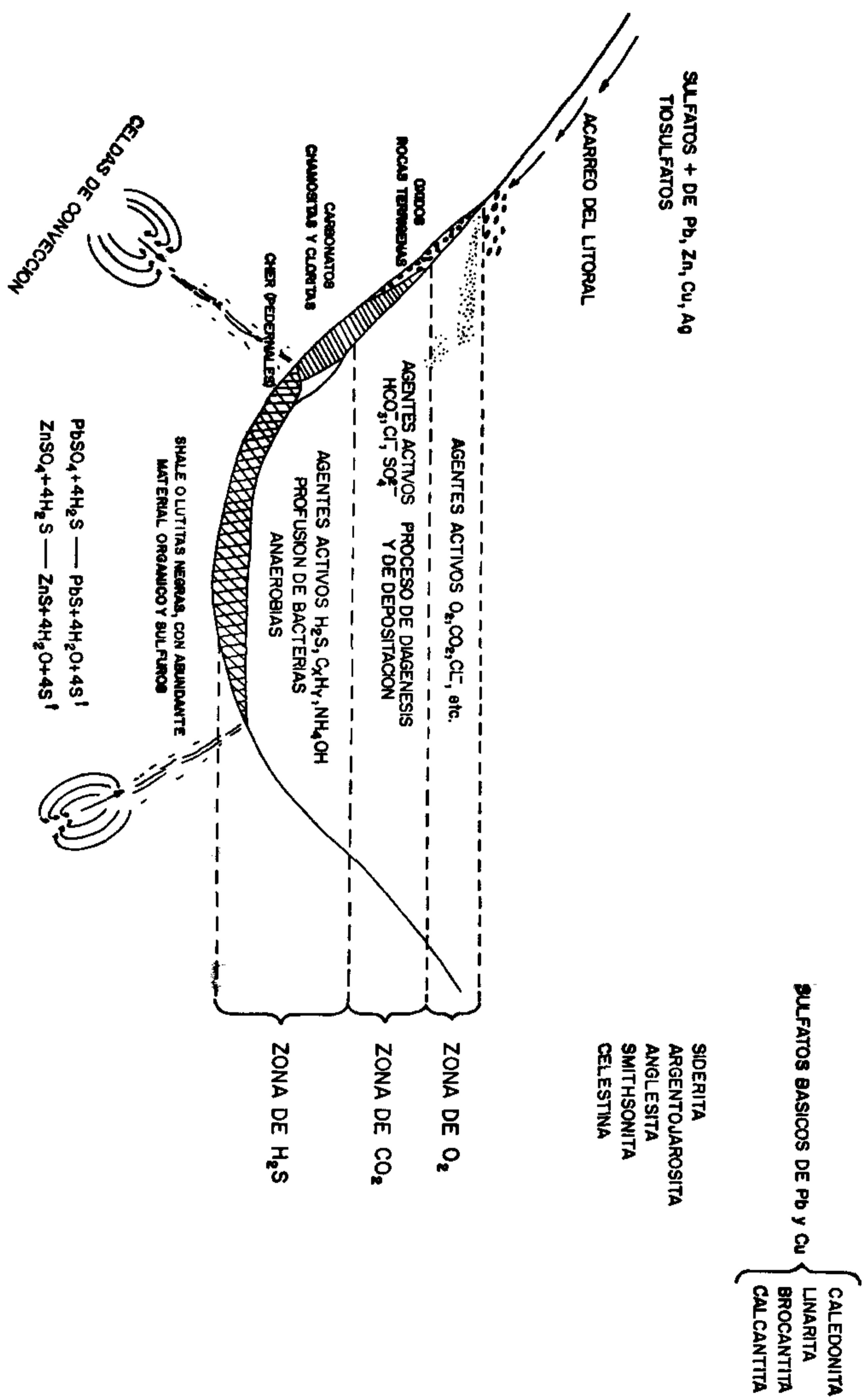
## **TEXTURAS OBSERVADAS AL MICROSCOPIO DE LAS MENAS DE ARROYO SECO**

**SECTOR NORTE  
LOS ALACRANES**

- Bandeada
- Laminar
- Diseminación
- Cementada

**SECTOR SUR  
DEL BARRENO  
ZAPOTE**

- Exsolución de Soluciones duras (Cál-copirita en esfalerita).
- Masiva
- En vetillas
- Intercrecimiento
- Colomórfica



ESQUEMA ILUSTRANDO LA DEPOSICIÓN SINGENÉTICA DE SULFUROS EN  
LUTITAS NEGRAS. PRECIPITACIÓN DE SULFUROS CONTEMPORÁNEO AL PROCESO  
DE DIAGENESIS

Figura 5

**OCCURRENCIAS DE MINERALIZACION EN FUNCION  
DE LA ACTIVIDAD VOLCANICA Y/O DE LOS PROCESOS DE SEDIMENTACION  
MARINA, INTERCONTINENTAL O LACUSTRE  
(BASADO EN STANTON, 1972)**

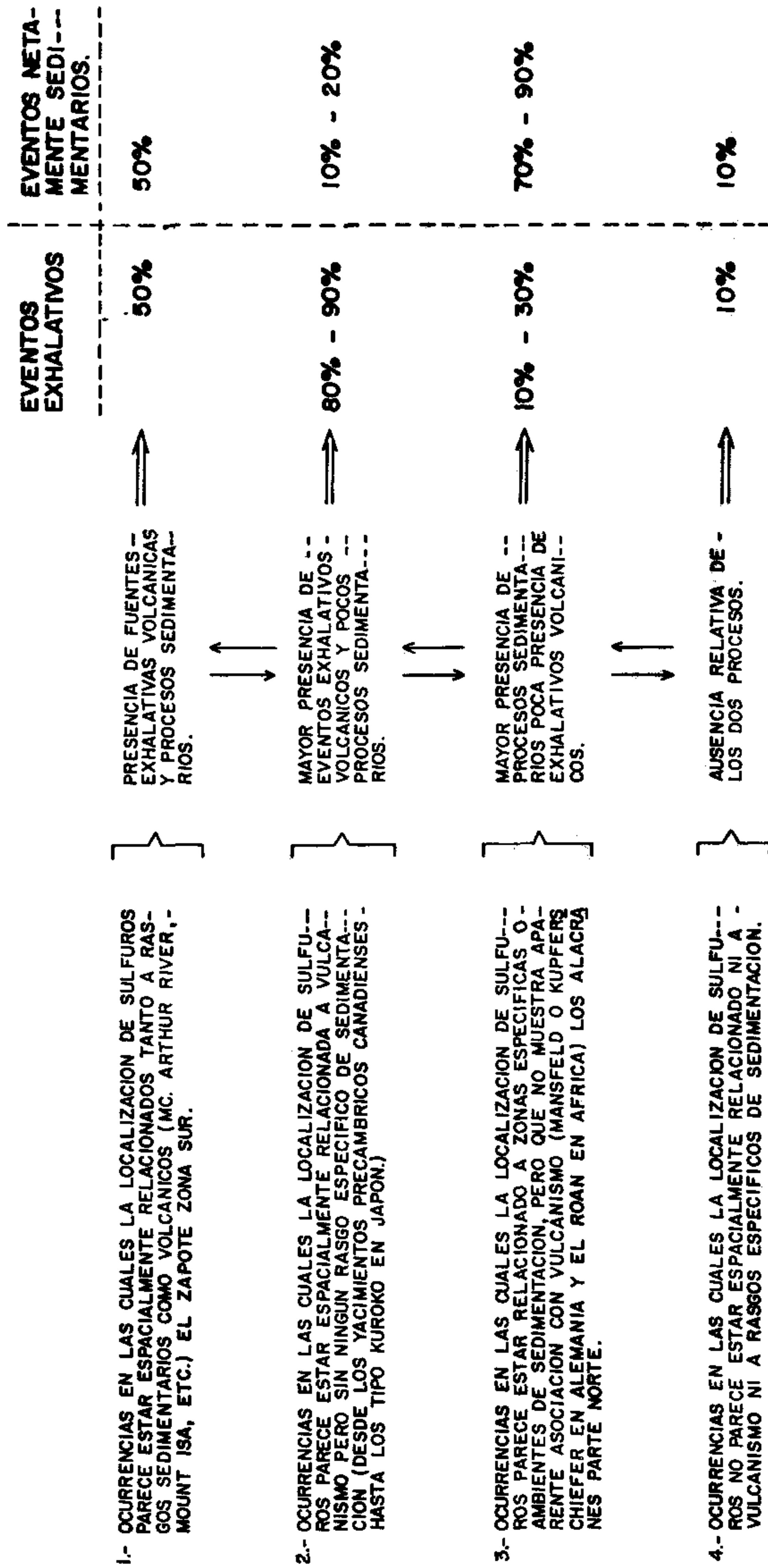


Figure - 6

ELABORACION:  
INGE. JOHNE SUS TANANTE G.  
DAVID ESPONDA O.

**MINERALOGIA DEL YACIMIENTO ARROYO SECO**

CLASE	RELATIVAMENTE ABUNDANTE	MENOS ABUNDANTE	ESPORADICOS	AMBIENTE
SULFUROS	GALENA ESFALERITA PIRITA CALCOPIRITA	ARGENTITTA TETRAEDRITA TENANTITA	WILLEMITA CUPRODESCLOIZITA	REDUCTOR $H_2S$ $S^{2-}$
OXIDOS	HEMATITA OXIDOS DE Mn.	ILMENITA	RUTILO	OXIDANTE $O_2$ $CO_2$
CARBONATOS	CALCITA	DOLOMITA ANKERITA	SIDERITA	PREDOMINIO OXIDANTE
SILICATOS	CUARZO, ARCILLAS FELDESPATOS CLORITAS	GLAUCONITA		
FOSFATOS			MONACITA	
SULFATOS		BARITA		

TETRAEDRITA ARGENTIFERA ó FREIBERGITA  
 PLATA EN {  
 ARGENTITA  
 GALENA ARGENTIFERA

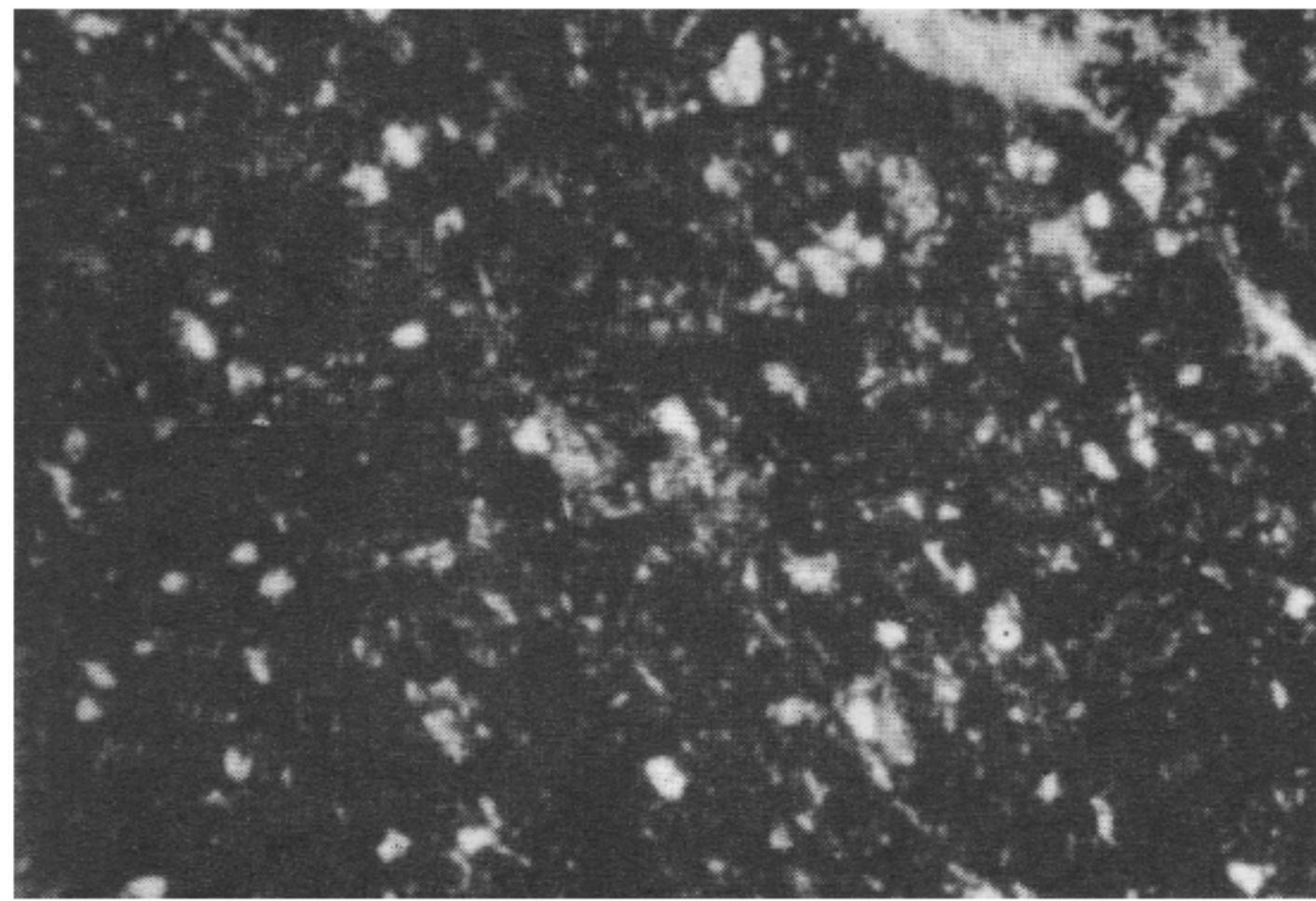
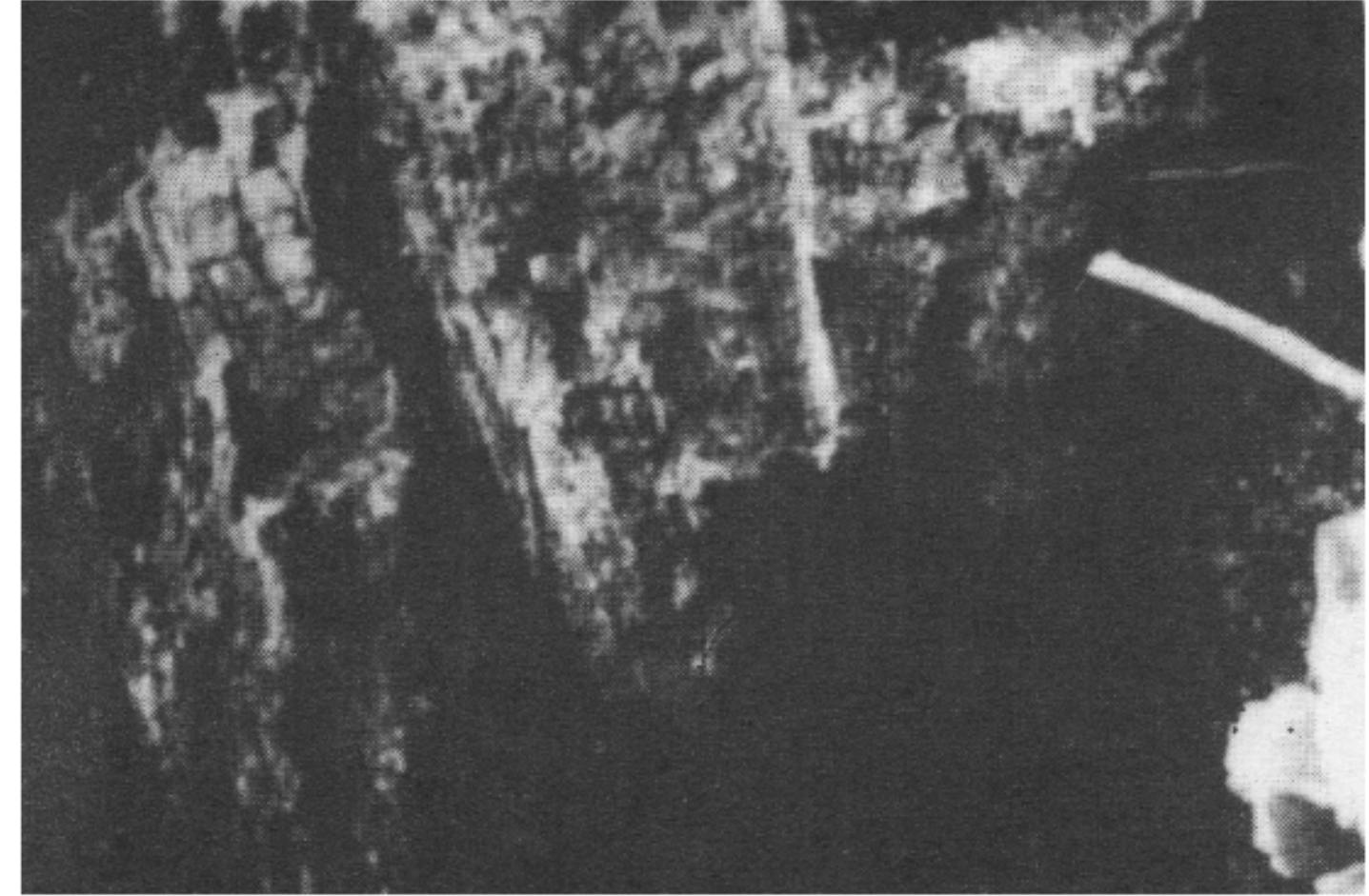
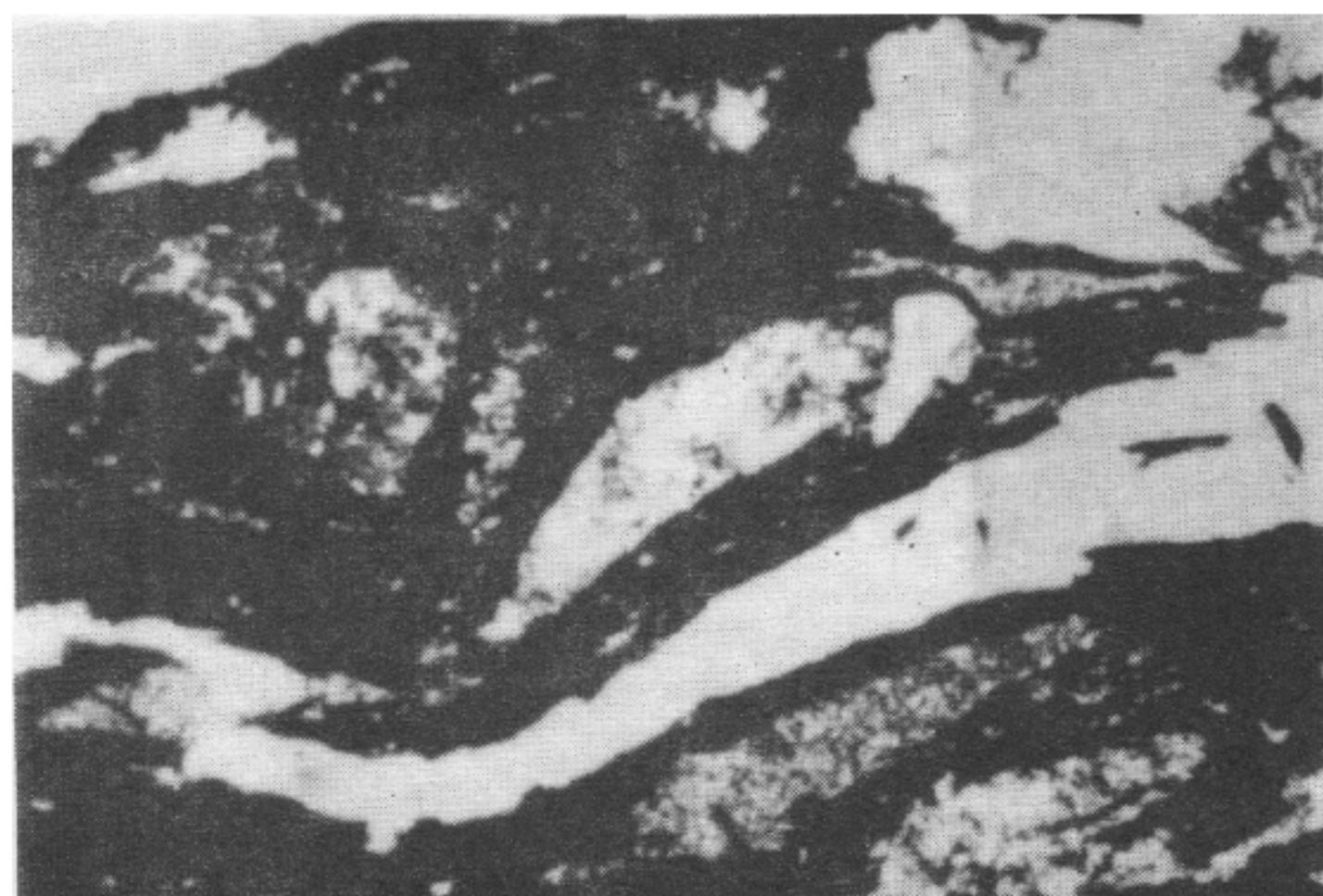
SUBMICROSCOPICO Y MICROSCOPICO EN CALCOPIRITA,  
 {  
 BARITA Y HEMATITA

ORO

MINERALES →  
 PRECIOSOS →

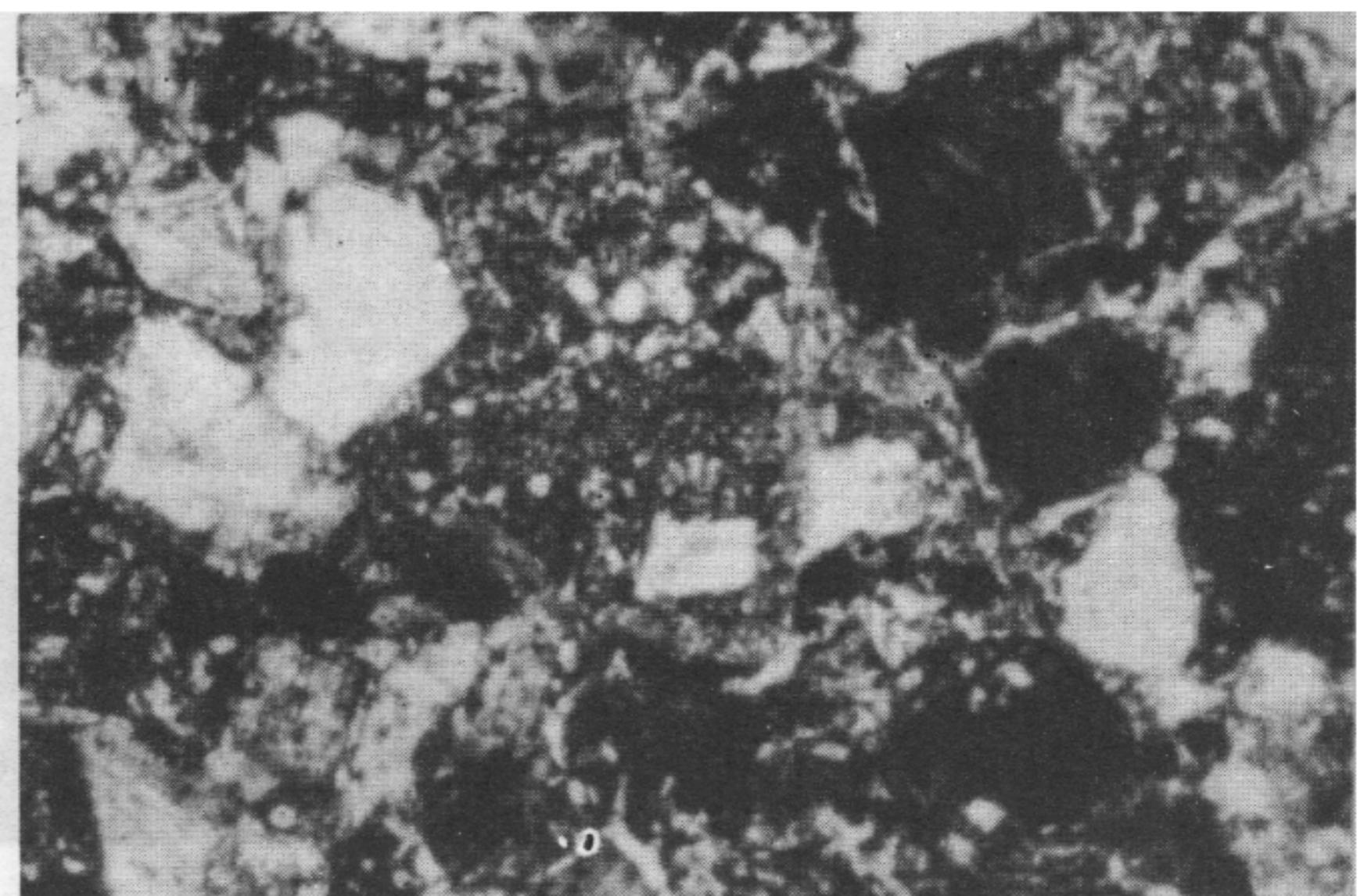
L A M I N A I.

- A. Fotografia mostrando horizontes mineralizados en el socavón San Ignacio. Obsérvese la interdigitación de lutita negra compacta y material deleznable o aleurita; en la parte superior se alcanza apreciar parte de la arenisca. Se observan óxidos en forma errática.
- B. Fotomicrografía ilustrando aspecto textural de un fragmento de lutita en la zona mineralizada. Obsérvense fragmentos de cuarzo inmersos en material orgánico. Sin nícoles. Luz transmitida.
- C. Fotomicrografía mostrando aspecto textural de una roca limolítica. Obsérvense los fragmentos sub-angulosos de feldespato y cuarzo en matriz criptocristalina de calcita y clorita. Muestra BDAS-5-6. Prof. 10m. Sector Los Alacranes. Nícoles X. Luz transmitida.



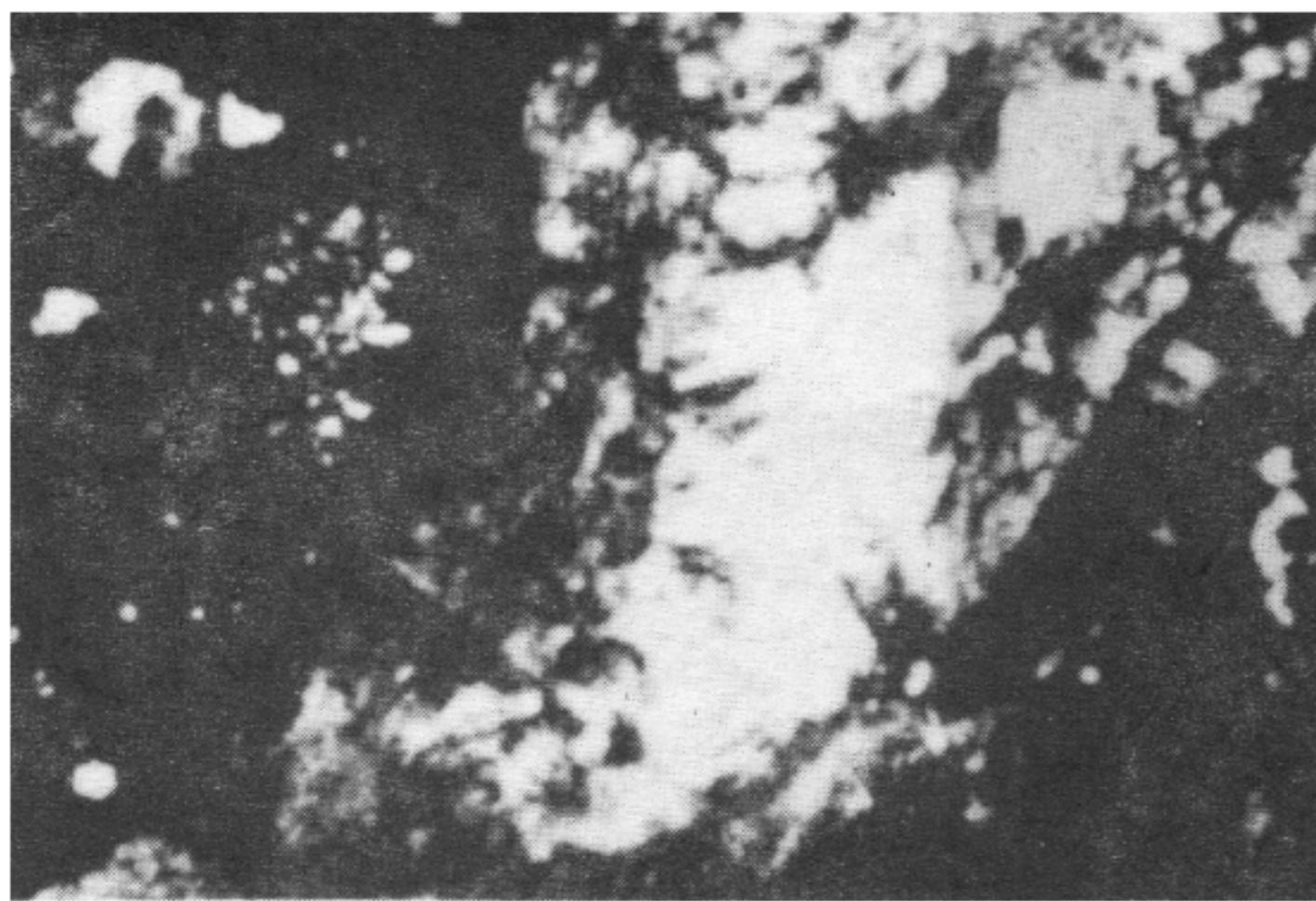
L A M I N A II.

- A. Aspecto megascópico de las calizas fosilíferas, que ocupan la parte superior del flanco oriental del anticlinal. Yacimiento Arroyo Seco.
- B. Fotomicrografía mostrando aspectos texturales de una arenisca. Obsérvense fragmentos anhédrales y sub-euhédrales de feldespatos, cuarzo, fragmentos de roca, inmersos en matriz de clorita-glaucofana y carbonato. Ambiente oxidante de sedimentación. Nicoles X. Luz transmitida.
- C. Fotomicrografía que ilustra fenocristales euhédrales de feldespatos corroidos, en una matriz de carbonato ferroso: dolomita + ankerita + calcita. Ambiente oxidante de sedimentación. Barreno BDAS 5-17. Prof. 102m. Nicoles X. Luz transmitida.



L A M I N A III.

- A. Fotomicrografía mostrando matriz de calcedonia con bordes enriquecidos en fierro (calcedonia férrea o cornelian). Los tonos negros son cristales de hematita. Ambiente oxidante de deposición. Barreno BDAS-5. Prof. 16 m. Sin analizador. Luz transmitida.
- B. Fotomicrografía ilustrando lentes finogranulares de galena y esfalerita interdigitadas con material orgánico y carbonoso (color negro oscuro). Texturas típicas de procesos sindiagenéticos. Ambiente reductor de deposición. Muestra AISP-6. Luz reflejada. Nicols X.
- C. Fotomicrografía que muestra textura sub-bandeada de granos elongados de galena en carbonato, siguiendo planos de pseudo-estratificación de la lutita. Las tonalidades oscuras son material orgánico y arcilloso. Muestra BDAS 5-15. Texturas indicadoras de procesos sindiagenéticos. Ambiente reductor de deposición. Luz reflejada. Nicols X.



L A M I N A IV.

- A. Fotomicrografía que muestra galena alargada y aplastada, junto con esfalerita entre material carbonoso y orgánico. Lutita mineralizada del Sector Los Alacranes. Ambiente reductor de deposición. Muestra AISP -2. Luz reflejada. Nicoles X.
- B. Fotomicrografía que muestra la asociación de galena, estafalerita y barita-calcita. Textura masiva. Muestra ZSP-1. Área El Zapote. Luz reflejada. Nicoles X.
- C. Fotomicrografía que ilustra la textura emulsoide de inclusiones de calcopirita en esfalerita. Se aprecian granos irregulares y verillas de galena en calcita y cuarzo. Mineralización exhalativa-hidrotermal del área El Zapote. Luz reflejada. Muestra ZSP-2. Nicoles X.

