

GEOLOGIA Y YACIMIENTOS MINERALES DEL DISTRITO DE SAN FELIPE, SONORA

Jaime Roldán-Quintana*

RESUMEN

El Distrito de San Felipe se localiza en la porción centrooriental del Estado de Sonora, 136 km al noreste de la ciudad de Hermosillo. Las rocas más antiguas que afloran son las metamórficas de contacto, asignadas tentativamente al Cretácico Temprano; litológicamente corresponden a derrames y tobas de composición andesítica, así como a afloramientos aislados de limolitas, conglomerados y arcillas. Cubriendo concordantemente a estas rocas, se presentan derrames riolíticos, ignimbritas y areniscas tobáceas de edad paleocénica. La Formación Báucarit de edad miocénica temprana cubre discordantemente las unidades anteriores y litológicamente consiste de areniscas, conglomerados y arcillas, con derrames de basalto interestratificados, principalmente en su base. Depósitos clásticos más jóvenes, a los que se ha asignado una edad pliocénica, cubren discordantemente a las rocas descritas anteriormente. Las rocas intrusivas se encuentran representadas por un batolito granítico con facies granodiorítica, un tronco de riolita porfídica de edad eocénica (50.47 ± 1.6 m.a.), así como por diques y pequeños cuerpos intrusivos andesíticos del Mioceno-Oligoceno. Las estructuras más importantes son fallas normales de rumbo general $N30^{\circ}-60^{\circ}W$; otro sistema de fallas más antiguas controla la mineralización existente y tiene un rumbo E-W. Las minas San Felipe, Santa Rosa y Las Lamas son las más importantes. La primera corresponde a un depósito mesotermal, los minerales primarios observados son galena argentífera, esfalerita, calcopirita y pirita; como minerales secundarios se identificaron malaquita, azurita, crisocola, plata nativa, cerusita, anglesita y covelita. El cuarzo es el mineral de ganga más abundante, aunque se presenta calcita en proporciones menores. Las minas Santa Rosa y Las Lamas representan depósitos de contacto emplazados en colgantes, con algunos horizontes de calizas que controlan el reemplazamiento; el tronco de pórfido riolítico parece ser la fuente de mineralización. Los minerales de mena incluyen galena argentífera, esfalerita, calcopirita y scheelita, como ganga cuarzo y calcita. Se encuentra en operación una planta de flotación selectiva, con una capacidad de 100 toneladas métricas por día, produciendo dos concentrados, uno de zinc y el otro de cobre, plomo y plata.

ABSTRACT

The San Felipe District is located in the east-central portion of the State of Sonora, 136 km northeast of the city of Hermosillo. The oldest rocks are Early Cretaceous contact metamorphics; these rocks originally represented a sequence of andesitic flows and tuffs, and isolated outcrops of limestones, conglomerates and siltstones. Conformably overlying these rocks is a volcanic sequence, including rhyolites, ignimbrites and tuffaceous sandstones of a probable Paleocene age. Unconformably overlying the previous units is the Báucarit Formation, early Miocene in age, consisting of sandstones, conglomerates and clay horizons, including some basaltic-andesite flows interbedded mainly at the lower section. Younger clastic deposits unconformably overlie older rocks; a Pliocene age has been assigned to these clastics. The intrusive rocks consist of a granitic batholith with granodioritic facies, a stock of porphyritic rhyolite of Eocene age (50.47 ± 1.6 m.y.) and small andesitic intrusives of Miocene age. The major structures are normal faults with a general strike $N30^{\circ}-60^{\circ}W$; an older E-W system of normal faults controls the existing mineralization. The most important mines are San Felipe, Santa Rosa and Las Lamas. The San Felipe mine is a fissure-vein mesothermal deposit. The primary minerals observed are argentiferous galena, sphalerite, chalcopirite and pyrite. Malachite, azurite, chrysocola, cerussite, anglesite, native silver and covelite are present as secondary minerals. The most abundant gangue mineral is quartz and shows calcite in minor proportions. The Santa Rosa and Las Lamas mines are contact deposits in roof pendants which contain some limestone horizons; the porphyritic rhyolite stock seems to be the source of mineralization. Ore minerals include argentiferous galena, sphalerite, chalcopirite, scheelite and, as gangue minerals, quartz and calcite. A selective flotation mill is in operation with a 100 metric ton/day capacity, producing two concentrates, one of zinc and the other of copper, lead and silver.

INTRODUCCION

Propósito y alcance del estudio.- México tiene una tradición bien conocida en la industria minera. Desde tiempos coloniales se han desarrollado importantes centros de población, especialmente en la porción septentrional del país. Actualmente, la provincia geológica de la Sierra Madre Occidental, localizada en la región noroccidental de la Re-

pública, presenta muy buenas perspectivas para el descubrimiento de yacimientos minerales de importancia económica. A pesar de que esta región tiene gran importancia como zona de exploración, no ha sido estudiada sistemáticamente desde el punto de vista geológico-minero.

El Estado de Sonora es el segundo en extensión territorial de la República y uno de los principales productores de minerales en el país. La producción minera de Sonora para el año 1968 fue de 579.1 millones de pesos, por lo cual representa el 9.35% del total de la producción minera nacional; en 1974 la producción minera de Sonora representó

* Oficina Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Campoy 904, Colonia Pitic, Hermosillo, Sonora.

el 90% del valor total nacional.

Sonora es el principal productor de cobre (65% del consumo nacional); es también el primero en la producción de grafito y productor importante de tungsteno. También es de consideración su producción de molibdeno, plata, oro y algunos otros metales (Morales, 1970). En 1975 produjo 60,814 toneladas métricas de grafito, colocando a México como primer productor mundial de este mineral. En 1976 México ocupó el tercer lugar en la producción mundial, después de la Unión Soviética y Norcorea, y en 1977 Sonora fue el único Estado productor, proporcionando el total de la producción nacional.

Las minas de San Felipe se localizan en la porción centro-oriental del Estado. El área que cubre el presente estudio es de aproximadamente 240 km², y tiene como propósito entender la geología y su relación con la mineralización existente en esta región. Se espera que las conclusiones aportadas por este trabajo puedan ser empleadas en otras zonas mineralizadas con características geológicas similares. El estudio muestra las relaciones geológicas básicas que no han sido descritas hasta ahora y que tienen importancia primordial para planear más efectivamente futuros programas de exploración minera.

Localización y acceso.- La zona mineralizada de San Felipe se encuentra 136 km al noreste de Hermosillo, capital del Estado, y aproximadamente 160 km al sureste de Cananea (Figura 1). Exactamente se localiza en la ladera noreste de la Sierra de Aconchi, que es la principal prominencia topográfica de la región. Las coordenadas geográficas para la parte central del área son 29°53'N y 110°18'W. El relieve topográfico del área estudiada varía de 600 m.s.n.m. en el valle del Río Sonora, a 2,100 m en las partes más altas de la Sierra de Aconchi. La región es accesible desde Hermosillo y Cananea. Partiendo de Hermosillo por la Carretera Federal Núm. 15, se recorren 9 km hacia el norte, se continúan 119 km por la carretera a Ures al noroeste, hasta Aconchi, dos kilómetros adelante se desvía hacia el oeste, para cruzar el Río Sonora y llegar a San Felipe de Jesús. La distancia total de 132 km puede recorrerse en dos horas y media. La zona mineralizada de San Felipe está localizada en los municipios de San Felipe y Huépac. El nombre del distrito se deriva del pueblo de San Felipe de Jesús, localizado 10 km al sureste de las minas.

Otros poblados de importancia son Aconchi (el cual se localiza aproximadamente 3 km al sureste de San Felipe, en la ribera oriental del Río Sonora) y Baviácora (15 km al sureste de San Felipe).

El poblado de San Felipe de Jesús tiene 930 habitantes, de acuerdo al censo nacional 1970. Actualmente cuenta con una escuela primaria, electricidad, agua potable, telégrafo y teléfono. El área es drenada por el Río Sonora, que fluye con una dirección general hacia el sur; se inicia como una corriente continua, 15 km al sur de Cananea, y termina en la Presa Abelardo Rodríguez, en las cercanías de Hermosillo. El valle del Río Sonora constituye una zona agrícola de importancia económica en la región semiárida del noreste de Sonora, con terrenos de riego durante todo el año. Los principales cultivos son: maíz, chile, alfalfa, trigo, papa, cebolla, tomate y caña de azúcar. Durante los últimos años, los vecinos han empezado a cultivar pera, naranjo y otros árboles frutales.

La economía de la región está constituida principal-

mente por la ganadería y, en menor proporción, por la agricultura; la minería sólo la ha influenciado ocasionalmente.

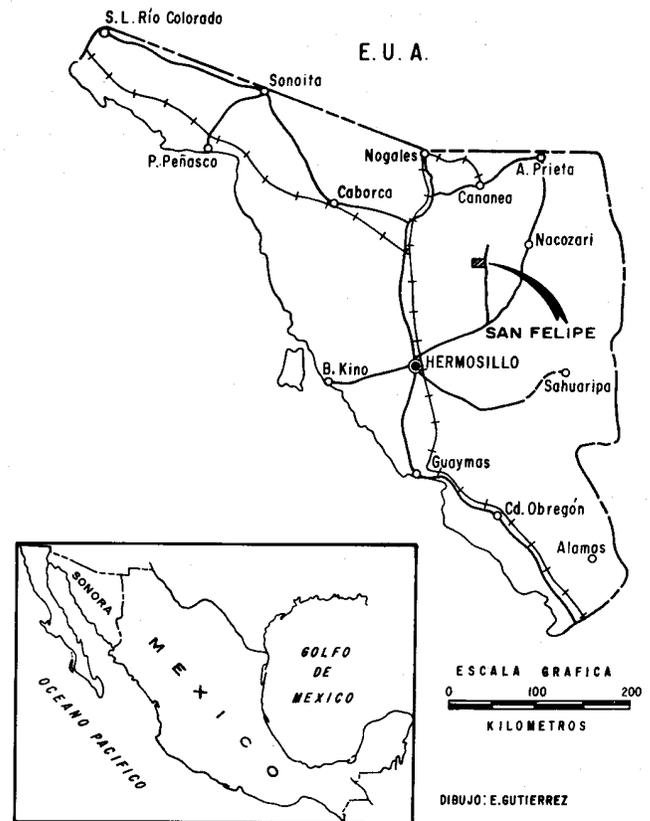


Figura 1.- Plano de localización del Distrito de San Felipe, Sonora.

De acuerdo con la clasificación climática de Koeppen, modificada por García (1970), el clima es extremadamente seco, con una temperatura media anual de 24°C, con temperatura mínima en invierno de -4°C y máxima en verano de 45°C. La precipitación total anual durante los años 1970-73 varió de 323 a 370 mm, con estación de lluvias durante los meses de junio a septiembre y lluvias ocasionales en los meses de enero y febrero. La vegetación en esta parte del Estado es la característica de las regiones semiáridas. Se observan pequeños cambios en los tipos de vegetación conforme aumenta la altitud.

Trabajos previos.- El Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México compiló en 1968 un mapa de la geología del Estado a escala 1:500,000, el cual fue actualizado en 1974, incluyendo el área del presente estudio. Una buena síntesis de las investigaciones publicadas sobre las rocas precámbricas y paleozoicas del sur de Arizona y Sonora fue escrita por Fries (1962). King 1939 proporcionó el mejor trabajo publicado sobre la geología regional de Sonora, aunque no cubre el área de San Felipe; las relaciones estratigráficas básicas son similares en esta porción del Estado.

En relación a los recursos minerales, recientemente se compiló un mapa metalogénico del Estado por parte del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora (Echavarrí, 1978). Mills y Hokuto (1971) describieron la geología y mineralización de tungsteno que se presenta en el área de Baviácora, aproximadamente a 30 km al sur de

San Felipe de Jesús.

A pesar de que la explotación de las minas de San Felipe se inició antes del presente siglo, en la fecha cuando se comenzó el presente estudio no existía un mapa geológico detallado. Las únicas referencias que existen sobre la geología de la región mineralizada de San Felipe son los trabajos de Schramm (1932), quien describió la geología y mineralización de la mina Artemisa, y el de Islas (1971), del Consejo de Recursos Minerales, quien realizó un reconocimiento geológico y un muestreo geoquímico. En este último estudio se hacen comentarios generales sobre la estructura y alteración.

Método de estudio.- El trabajo de campo se realizó en dos temporadas, la primera durante el verano de 1974 y la segunda en el invierno de 1975, dando un total de 90 días dedicados a estudios de campo. Para estos estudios se utilizaron fotografías aéreas a escala aproximada de 1:60,000 y mosaicos corregidos para toda el área.

Mediante procesos fotográficos, se obtuvo una ampliación a escala 1:20,000 del mapa topográfico que fue utilizado como mapa base.

Durante la cartografía geológica se utilizó una brújula con 11° de declinación, un alfiler y una cinta metálica. Cada unidad litológica y mina fueron muestreadas. Donde fue posible, también se colectaron muestras de los trabajos subterráneos. Las muestras que contenían mineralización fueron enviadas al laboratorio del Consejo de Recursos Minerales de Nogales, Sonora y, posteriormente, a Hermosillo para ser ensayadas. Cuatro muestras de roca fueron enviadas a los laboratorios de geoquímica de la Universidad de Arizona para la determinación de edad absoluta, usando el método potasio-argón. Algunas muestras que contenían mineralización (principalmente minerales opacos) fueron llevadas a la Universidad de Iowa y se utilizaron para trabajos de laboratorio consistentes en la preparación de secciones pulidas y láminas delgadas. Parte de los estudios petrográ-

ficos y minerográficos se realizó en la Universidad de Sonora.

GEOLOGIA

Fisiografía.- La zona mineralizada de San Felipe de Jesús se localiza en la subprovincia de Cordilleras Alargadas de la provincia de la Sierra Madre Occidental, de acuerdo con la clasificación de las Provincias Fisiográficas de México (Raisz, 1964).

Dicha subprovincia está constituida por cordilleras con orientación aproximada N-S, flanqueadas por amplios valles rellenos de materiales clásticos; los límites entre los valles y las sierras son generalmente fallas normales, con orientación NW-SE. Algunas de estas cordilleras se extienden hacia los Estados Unidos. La constitución litológica de las serranías de la subprovincia de Cordilleras Alargadas consiste de granitos de edad terciaria temprana (Sierra de Aconchi), así como de rocas marinas cretácicas cubiertas por rocas volcánicas, principalmente del Terciario (Sierra de Santa Margarita al oriente de San Felipe), o intrusionadas por rocas graníticas que constituyen, en algunos casos, la totalidad de la sierra, como es el caso de la Sierra de Aconchi-San Antonio. Los valles están rellenos con clásticos continentales que consisten principalmente de areniscas, conglomerados y algunos derrames de basaltos (al norponiente de Baviacora y al oriente de Moctezuma).

En el Distrito de San Felipe, el rasgo fisiográfico más sobresaliente es la Sierra de Aconchi, con elevaciones mayores de 2,000 m (Figura 2). La Sierra de Aconchi continúa hacia el sur 45 km aproximadamente (Figura 3). Otra unidad fisiográfica está representada por el "stock" de riolita porfídica con un afloramiento de forma circular. Las elevaciones, con variaciones de entre 800 m en sus afloramientos más bajos y 1,200 m en los cerros de San Francisco y La Cobriza, constituyen sus porciones más altas. El drenaje de esta unidad fisiográfica es de tipo radial.

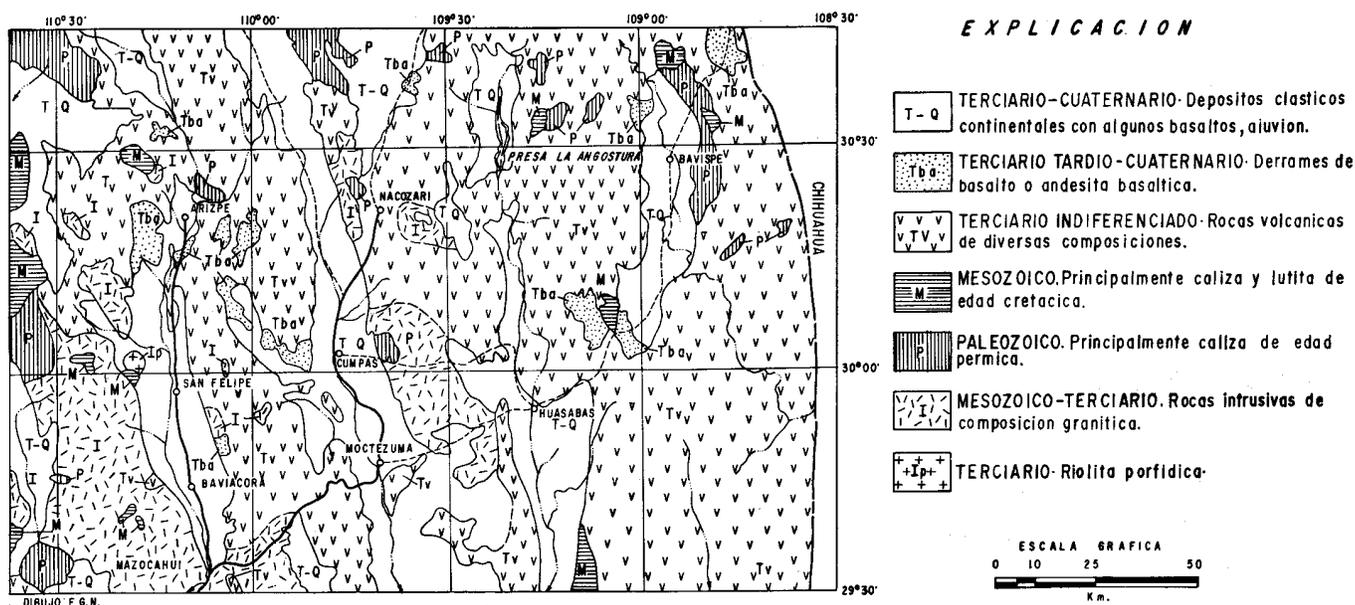


Figura 2.- Esquema geológico de una porción del noreste de Sonora (modificado a partir de López-Ramos, 1974).

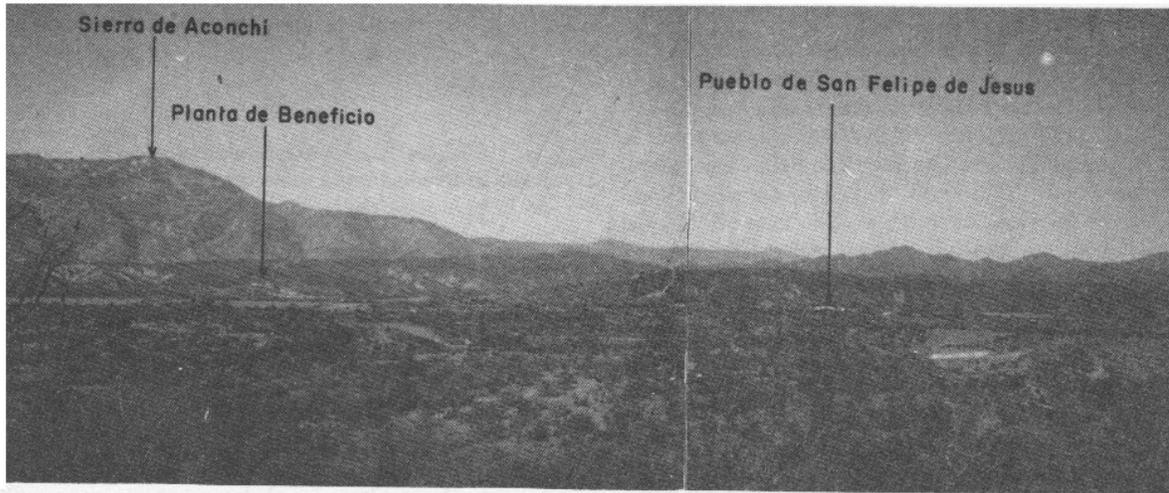


Figura 3.- Vista panorámica de la región de San Felipe de Jesús, Sonora. Obsérvense la Sierra de Aconchi y el valle del Río Sonora; así como el pueblo de San Felipe y la localización de la planta de beneficio.

Existen superficies de arrasamiento ("pediment") y lomeríos bajos con drenaje dendrítico, formados por conglomerados en las laderas de la Sierra de Aconchi y al noroeste de San Felipe. Cerca de las márgenes del Río Sonora existen algunas terrazas aluviales, formadas por los conglomerados más jóvenes que se encuentran en una posición casi horizontal. En la llanura de inundación del Río Sonora se desarrollan amplios campos agrícolas, con muchos meandros abandonados.

Panorama geológico regional.- La geología del Estado de Sonora es muy interesante, tanto por la variedad de rocas que en él se encuentra expuesta, como porque cubre una gran amplitud temporal. Afloran rocas cuya edad varía desde el Precámbrico hasta el Reciente.

La Figura 2 muestra, de manera simplificada, la geología de una porción del noreste de Sonora. En los límites con el Estado de Chihuahua, las rocas volcánicas, probablemente de edad oligocénico-miocénica, son las más abundantes. Las rocas intrusivas también cubren áreas extensas (Batolito de Aconchi al oeste de Baviácora). Las rocas sedimentarias de edad mesozoica que se muestran en la Figura 2 están representadas por areniscas y calizas del Cretácico Temprano. Las rocas paleozoicas son calizas del Misisípico, Devónico y Pérmico (Imlay, 1939), y están expuestas al nororiente de Nacozari y oriente de Hermosillo (fuera del área cubierta por la Figura 2). El rumbo predominante de las rocas del Paleozoico y Cretácico Temprano es noroeste. Los rasgos estructurales más sobresalientes del noreste de Sonora son fallas, con rumbo general N-S y NW. Fries (1962) y Solano (1975) consideran estas fallas normales; sin embargo, King (1939) describió algunas fallas inversas en el área de Sahuaripa; en los alrededores de San Felipe se consideran fallas normales. En el esquema geológico de la Figura 2 se puede apreciar que muchos de los afloramientos parecen estar tectónicamente controlados, como lo sugiere la orientación en la misma dirección de algunos contactos abruptos. Tomando en cuenta que este tipo de fallas controla, en cierta forma, la topografía presente y el drenaje (por ejemplo los valles de los Ríos Sonora y Moctezuma), y la existencia de temblores de tierra en tiempos actuales, que han sido relacionados con estas fallas en tiempos histó-

ricos en el Valle de San Bernardino en el noreste de Sonora (Summer, 1974), se considera que algunas de las fallas deben ser relativamente jóvenes o encontrarse aún activas.

Geología local.- Dentro del área cubierta por el presente trabajo se identificaron rocas intrusivas y extrusivas, así como sedimentarias y algunas zonas con rocas metamórficas de contacto. Las rocas intrusivas están representadas por un batolito granítico que muestra solamente una pequeña porción del plano geológico. Un tronco de riolita porfídica de edad eocénica cubre la mayor parte del área mostrada en el plano geológico de la Figura 4.

Entre las rocas extrusivas afloran derrames de riolita y tobas, para las que se infiere una edad pre-eocénica. Las rocas metamórficas de contacto son de facies de anfibolita a albíta-epidota; localmente muestran minerales de las facies de corneana de piroxena. Las rocas sedimentarias expuestas comprenden principalmente sedimentos de la Formación Báucarit, de edad miocénica y conglomerados más jóvenes de probable edad pliocuaternaria (Tabla 1).

Unidad metamórfica.- Se usa el nombre de "Unidad metamórfica" para designar a un grupo de rocas que ha estado sujeto a metamorfismo de contacto de la facies de corneana de hornblenda a albíta-epidota, skarn de wolastonita, caliza recristalizada y roca verde. En algunos afloramientos, es posible definir la naturaleza original de estas rocas: calizas, limolitas, conglomerados, así como derrames y tobas andesíticas fuertemente deformadas. Estas rocas son las más antiguas en el distrito. En casi todos sus afloramientos se encuentran fuertemente epidotizadas, mostrando un color verde característico (Figura 5).

En el Arroyo de Lavaderos afloran aproximadamente 40 m de caliza recristalizada, en capas de 1 a 5 m, con bandas de 10 cm de pedernal blanco. La caliza se encuentra interstratificada con una roca de grano fino (toba (?)). En muchos lugares, las rocas de esta unidad están intrusivas por el tronco de pórfido riolítico. En la Mina Santa Rosa, la secuencia está representada exclusivamente por una caliza fosilífera, mostrando amplias zonas mineralizadas por reemplazamientos. En lámina delgada, se observa que la caliza está recristalizada con fragmentos de fósiles (30^o/o). La

matriz (70%) está formada por micrita con algunos bioclastos; muestra fragmentos aislados de equinoides, pirita y fragmentos de cuarzo como constituyentes menores. En relación a la facies de metamorfismo presente en estas rocas, fueron identificados algunos minerales indicativos de metamorfismo de contacto: granate (grosularita), calcita recristalizada, actinolita y wolastonita; los dos últimos minerales fueron observados especialmente en las rocas encajonantes de las minas Santa Rosa y Las Lamas. En las andesitas meta-

morfoseadas se identificaron albita y epidota, así como la presencia anormal de hornblenda y biotita, que en algunos casos representa hasta el 60% de la roca. Con la mineralogía anterior se concluyó que, en la mayor parte del área, estas rocas han sido metamorfoseadas por condiciones de metamorfismo de contacto en las facies de anfibolita a albita-epidota. Sin embargo, localmente se observaron facies de más alta temperatura, en correspondencia con la facies de corneana de piroxena.

Tabla 1.- Columna estratigráfica del Distrito de San Felipe.

PERIODO	EPOCA	LITOLOGIA	EDAD (m.a.)	DESCRIPCION
CUAT.	RECIENTE	Qal		Qal.- Aluvi3n Cuaternario
	PLEISTOCENO			
TERCIARIO	PLIOCENO	Tc		Tc.- Rocas cl3sticas, la unidad superior representa terrazas aluviales, la inferior dep3sitos de talud.
	MIOCENO	Tba	$21.7 \pm 0.41^*$	Tba.- Formaci3n B3ucarit
	OLIGOCENO	Tan		Tan.- Intrusivos andes3ticos
		Tpr		Tpr.- Riolita porf3dica
	EOCENO	Tgr	$50.4 \pm 1.06^*$	Tgr.- Batolito gran3tico, con facies granodior3ticas.
	PALEOCENO	Tr		Tr.- Lavas riol3ticas, ignimbritas y areniscas tob3ceas.
CRETACICO	ALBIANO	Khn		Khn.- Rocas metam3rficas de contacto (rocas silicificadas, hornfels de hornblenda a albita-epidota y caliza recristalizada).
	APTIANO			

DIBUJO: E. GUTIERREZ

* FECHAS OBTENIDAS POR EL DR. PAUL. DAMON DE LA UNIVERSIDAD DE ARIZONA

Aunque se colectaron algunos f3siles de las calizas, infortunadamente no est3n bien conservados para su identificaci3n. Al respecto, Rangin (1977) ha descrito una secuencia cret3tica similar, en el 3rea de Cucurpe (50 km al sureste de Magdalena), que consiste de calizas bien estratificadas con *Orbitolina* sp. y rudistas con un alcance estratigr3fico que va del Aptiano al Albiano. Rangin y el autor visitaron los mejores afloramientos en San Felipe, y concluyeron que la fauna es la misma; sin embargo, en San Felipe no se encontraron rudistas, pero se pudo observar que la litolog3a es similar a la de Cucurpe. Gonz3lez (1978) reporta un espesor de 2,000 m de rocas del Cret3tico Temprano, con abundantes f3siles (*Exogyra* sp., *Gryphaea* sp., rudistas, etc.) a 63 km al norte de San Felipe, habiendo identificado tambi3n *Orbitolina texana* Roemer del Albiano temprano.

En el interior de la mina Santa Rosa se colectaron algunas muestras que fueron estudiadas en l3mina delgada y en superficie pulida. La roca encajonante es un skarn de wolastonita. En l3mina delgada se observ3 la siguiente mineralog3a: granate (70%), probablemente grosularita (el 3ndice de refracci3n y ambiente geol3gico as3 lo sugieren). El granate muestra anisotrop3a anormal y zoneamiento de la mayor3a de los cristales. Aparte del granate, esta roca contiene sericita (20%) y, como constituyentes menores, cuarzo, calcita, wolastonita y minerales opacos.

El contacto inferior de esta unidad no aflora, encontr3ndose concordantemente cubierta por rocas volc3nicas de composici3n riol3tica. Estas rocas se consideran tentativamente como del Cret3tico Inferior.

Recientemente, Rold3n y Rangin (1978) han descrito

secuencias jurásicas en el noroeste de Sonora muy similares a las de San Felipe; sin embargo, no se puede decir que las andesitas de la porción inferior sean jurásicas, mientras no se tengan mayores evidencias paleontológicas o geocronométricas.



Figura 5.- Andesitas epidotizadas. Nótase una dirección predominante de alteración asociada con pequeños diques de riolita porfídica.

Es difícil hablar sobre el espesor de esta unidad, ya que su contacto inferior no aflora y sus afloramientos no son continuos. Sin embargo, el espesor de la sección expuesta se estima en 400 m. Los fósiles en las calizas y las capas clásticas sugieren un ambiente de depósito marino-nerítico y la presencia de andesitas un ambiente volcano-sedimentario para esta secuencia. El volcanismo andesítico en el oeste de México ha sido referido por algunos autores (Bonneau, 1971; Rangin, comunicación personal; Solano, 1975) como un volcanismo calci-alcalino continental o de arco insular durante el Cretácico Temprano. King (1939) observó que las calizas del Paleozoico tardío, en la porción central de Sonora, se encuentran cubiertas discordantemente por depósitos clásticos del Cretácico Temprano. El mismo autor dice "hacia el oeste, en la provincia de sierras y valles paralelos, las calizas se adelgazan, las rocas clásticas sedimentarias se engruesan y contienen grandes cantidades de detritos volcánicos y hay gruesos derrames de lava".

Derrames riolíticos.- Una secuencia volcánica que incluye riolitas, ignimbritas y areniscas tobáceas se designa "Derrames riolíticos". En la mayoría de los casos, estas rocas se encuentran fuertemente intemperizadas. El contacto con la "Unidad metamórfica" es aparentemente concordante; sin embargo, este hecho fue inferido, ya que no hay buenos afloramientos que muestren el contacto. Se encuentra cubierta discordantemente por clásticos de la Formación Báucarit.

En lámina delgada las riolitas muestran abundante vidrio en la matriz (40^o/o), feldespatos alterados (30^o/o), cristales de cuarzo corroído (20^o/o) y cristales aislados de biotita, sericita y fragmentos líticos (Figura 6). Esta unidad de derrames riolíticos está claramente intrusionada por el pórfido riolítico de edad eocénica (fechado geocronométricamente); de esta manera se infiere una edad pre-eocénica para estos derrames riolíticos.

En base a la información de rumbo y echado y to-

mando en cuenta la topografía, se estima un espesor de 200 m para esta unidad; en la mayoría de los afloramientos, su contacto superior es una superficie de erosión; probablemente representa una facies riolítica del ciclo volcánico Larámide.

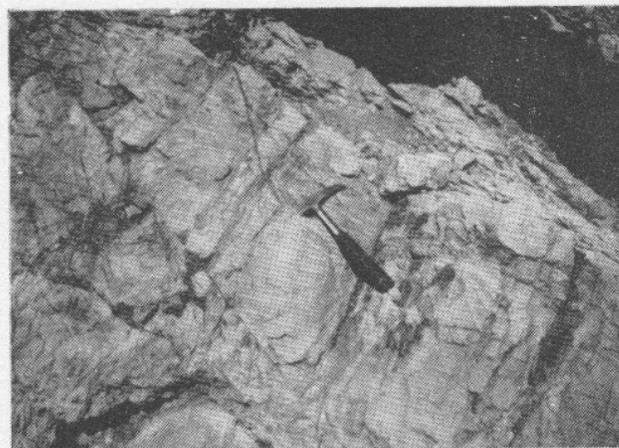


Figura 6.- Derrame riolítico. Se aprecia claramente la estructura fluidal. Afloramiento al oriente de la mina Santa Rosa.

Formación Báucarit.- El nombre de Formación Báucarit fue formalmente propuesto por King (1939, p. 1681) "para designar una secuencia ligeramente consolidada de areniscas, conglomerados y arcillas bien estratificadas". En el área del Distrito de San Felipe, los conglomerados contienen principalmente fragmentos redondeados a subangulares de rocas intrusivas y volcánicas, incluyendo algunos de caliza y corneana. En la parte inferior de la formación se encuentra uno o más derrames de aglomerados basálticos, interestratificados con los conglomerados.

La Formación Báucarit está ampliamente extendida en la provincia de sierras y valles paralelos (King, 1939, p. 1688), (sierras alargadas de Raisz).

El fallamiento de la Formación Báucarit puede sugerir que su posición actual en los valles es el resultado de la preservación de la erosión, por fallamiento normal, y que aquella no puede haber sido depositada en los bloques levantados. Los conglomerados de esta formación, generalmente de color rojizo, fueron probablemente depositados como abanicos aluviales a lo largo de los márgenes de las cordilleras elevadas.

La Formación Báucarit cubre discordantemente los derrames riolíticos y está a su vez cubierta discordantemente por unidades clásticas más jóvenes. La posición estructural de la Formación Báucarit es muy irregular, con echados que varían de 15 a 35^o, con rumbos muy diversos, productos del echado original posiblemente acentuado por fallamiento en bloques, después de su depósito. Por lo que respecta a la edad de esta formación, no se encontraron fósiles; sin embargo, Damon (1975, comunicación escrita) fechó por el método K-Ar (método de roca total) una andesita basáltica, colectada de la parte inferior de esta unidad y obtuvo una edad miocénica temprana (21.7 ± 0.4 m.a.). En las cercanías de Moctezuma (en el valle subsecuente al oriente de San Felipe), se encontraron restos de vertebrados, consistentes en dientes de caballo y venado, que fueron identificados por el Dr. Ismael Ferrusquía del Instituto

de Geología, asignándoles una edad pleistocénica media, en una secuencia de limolitas y conglomerados poco cementados, que descansan sobre un derrame de basalto concordante (?) sobre rocas asignadas a la Formación Báucarit. Lo anterior sugiere (Roldán-Quintana y Nájera-Garza, en preparación) que el proceso de sedimentación que dio origen a la Formación Báucarit cubre el lapso del Mioceno temprano al Pleistoceno medio.

En relación a la edad de la Formación Báucarit, King (1939) dice: "no se encontraron fósiles en la Formación Báucarit, pero en algunos lugares han sido reportados restos de vertebrados. En el sur de Arizona, el Conglomerado Gila está estrechamente relacionado en origen y es probablemente casi de la misma edad". Una gran cantidad de fauna de vertebrados que se encontró en este último conglomerado fue estudiada por Gidley como perteneciente al Plioceno tardío.

La contradicción aparente de las edades que se han mencionado puede explicarse de la siguiente manera: la muestra fechada por Damon fue colectada casi en la base de la unidad, mientras que los fósiles del sur de Arizona pueden representar un horizonte estratigráfico más alto. De las consideraciones anteriores, puede deducirse que la época de depósito de la Formación Báucarit cubre un intervalo de tiempo desde el Mioceno temprano hasta el Plioceno tardío, y que ésta puede contener depósitos aún más jóvenes. La Formación Báucarit y el Conglomerado Gila representan abanicos coalescentes de facies lacustres con arcillas y material arenoso.

En lámina delgada, los basaltos muestran una textura intergranular con fenocristales de olivino alterados a idingsita (5°/o), labradorita (60°/o) y minerales opacos (35°/o); como constituyente menor presentan clinopiroxena. La mayor parte de las plagioclasas se encuentra en la matriz. El ejemplar de mano de este basalto muestra una gran cantidad de vesículas rellenas con calcita. Por dos razones el autor considera a la Formación Báucarit genéticamente asociada al fallamiento de sierras y cuencas: (1)-porque el fallamiento produjo las condiciones apropiadas para el depósito y preservación de los clásticos y, (2)-porque los basaltos existentes en esta unidad fueron extravasados a lo largo de las fallas de este sistema. Así puede tenerse una idea aproximada de la fecha en que se inició el fallamiento.

Probablemente, el espesor de la Formación Báucarit en el área de San Felipe no exceda 250 m; sin embargo, en el sur de Arizona, Heindl (1952) reportó un espesor entre 300 y 2,400 m para el Conglomerado Gila.

Unidades de clásticos terciarios.- Una gran parte del área mostrada en el plano geológico se encuentra cubierta por unidades clásticas.

Aunque no fueron diferenciadas en el plano geológico, afloran dos unidades conglomeráticas que cubren discordantemente a rocas más antiguas, que a su vez se encuentran cubiertas por depósitos aluviales del Cuaternario.

La parte inferior de los clásticos terciarios está constituida por un conglomerado de color claro que contiene fragmentos de granito, corneana y abundante cuarzo, angulares a subangulares, mal clasificados. Se encuentran pobremente cementados en una matriz arcósica y su tamaño varía de 1 a 60 cm. En algunos lugares, esta unidad conglomerática contiene cantos imbricados. En la unidad inferior no se encontraron fragmentos de riolita porfídica. Probablemente

el conglomerado inferior representa depósitos de talud, derivados principalmente de la erosión del batolito granítico.

Cubriendo discordantemente al conglomerado inferior, se encuentra una segunda unidad conglomerática de color rojizo, formada por cantos de riolita porfídica bien redondeados y fragmentos de basalto pobremente cementados, en una matriz arenosa de color rojizo que contrasta notablemente con la unidad conglomerática inferior. La unidad superior aparentemente representa terrazas aluviales a lo largo de las márgenes del curso actual del Río Sonora.

La estructura de las unidades clásticas es simple; en ningún caso presentan inclinaciones mayores de 25°, los echados son probablemente originales del depósito. En la mayoría de sus afloramientos son casi horizontales y su expresión superficial es un lomerío bajo, con un drenaje dendrítico bien desarrollado. Tomando en cuenta sus relaciones estratigráficas, se ha asignado a estos conglomerados una edad terciaria tardía, pues no se encontraron fósiles que permitiesen una determinación más precisa. Los mejores afloramientos de estas unidades se encuentran en los alrededores de El Agua Caliente. No pudo realizarse una estimación del espesor de esta unidad, aunque probablemente no exceda los 250 m.

Aluvión cuaternario.- Constituye el depósito más joven que existe en el área. Consiste de arena, grava y arcillas. Su mayor área de afloramiento se encuentra en el valle del Río Sonora, donde se localizan las áreas de cultivo más importantes de la región.

Rocas intrusivas.- Las rocas intrusivas cubren una porción importante del área estudiada. Se identificaron y cartografiaron tres unidades. La primera incluye el batolito granítico de la Sierra de Aconchi de probable edad terciaria temprana; la segunda, cuerpos intrusivos de composición andesítica, probablemente de edad miocénica; por último, se distingue un pórfido riolítico de edad eocénica. Desde el punto de vista económico, estos últimos intrusivos constituyen la roca encajonante más importante.

Batolito granítico.- Se designa con este nombre a las rocas intrusivas de la Sierra de Aconchi (Figura 7), que afloran en dimensiones batolíticas continuando hacia el sur y el norte fuera del área estudiada. Litológicamente consiste de un granito (principalmente de muscovita, aunque también incluye granito de biotita) con facies granodioríticas. Dentro de esta unidad, también se han incluido rocas pegmatíticas que afloran como diques y otros pequeños intrusivos en algunas localidades de la Sierra de Aconchi.

En lámina delgada, la roca muestra una textura hipidiomórfica granular, con cuarzo euhedral (30°/o) presentando cristales hasta de 2 mm y pertita (20°/o). Se identificaron también cristales de muscovita (20°/o). El cuarzo se presenta como relleno intersticial. También se identificaron albita (15°/o) y cantidades menores de zircón y apatita (Figura 8).

En lámina delgada, las facies granodioríticas muestran una textura hipidiomórfica granular en la que se encuentran cristales de pertita (20°/o) hasta de 3 mm de longitud, plagioclasa (andesina) (35°/o), biotita (5°/o), sericita (10°/o) y cuarzo (20°/o), además de cantidades menores de clorita y hornblenda. Como se explicó anteriormente, la Sierra de Aconchi constituye la prominencia topográfica más importante, alcanzando elevaciones mayores de 2,000 m.s.n.m.



Figura 7.- Un aspecto del Batolito de Aconchi, en la porción septentrional de la sierra del mismo nombre, en donde se observa un tipo de intemperismo esferoidal.

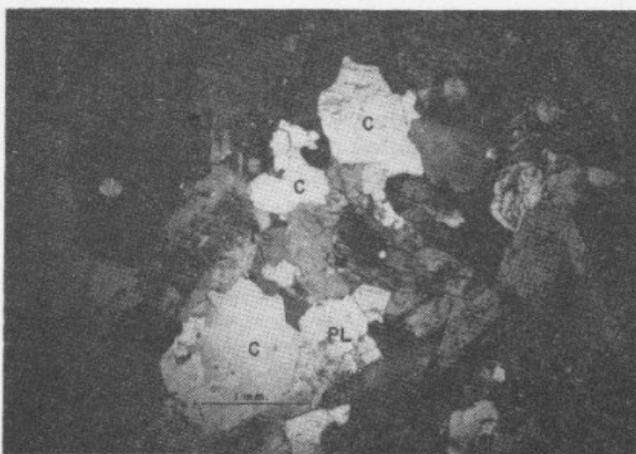


Figura 8.- Granito en lámina delgada. Cuarzo (C), pertita (P), plagioclasa (Pl), muscovita en una matriz de cuarzo y feldespato. Nícoles cruzados X 63.

Dentro del área estudiada, los contactos del batolito con otras rocas son por fallas normales. Hacia el suroriente de San Felipe, cerca de El Agua Caliente, se localizan algunos manantiales termales a lo largo de la traza de una falla (Figura 4).

En el área de afloramiento del batolito existen algunas pegmatitas y diques andesíticos. Las pegmatitas tienen un rumbo N45°W con echados casi verticales, mientras que los diques andesíticos en muchos casos son perpendiculares o desplazan a las pegmatitas, indicando así que son posteriores (Figura 9). Sin embargo, en algunos casos el rumbo de los diques andesíticos es N60°W. Estos diques aparentemente son más jóvenes que los que afloran hacia el norte, y sugieren que existen algunos de cuando menos dos edades.

En relación a la edad del granito, Damon (1975, comunicación escrita) fechó una muestra colectada en el Arroyo Cajón de Las Casas, inmediatamente al sur del área mineralizada de San Felipe, y obtuvo una edad para el granito de 35.96 ± 0.70 m.a. (Oligoceno temprano), por el método K-Ar utilizando muscovita. Sin embargo, es difícil interpretar esta edad, ya que puede representar un evento termal posterior a su emplazamiento.



Figura 9.- Dique de andesita intemperizada intrusionando a otro pegmatítico. Porción norte de la Sierra de Aconchi.

En base a las relaciones de campo conocidas hasta ahora, no es fácil interpretar esta fecha en el área; no obstante, la porción septentrional de la Sierra de Aconchi muestra un relieve topográfico más alto que litológicamente corresponde a un granito de muscovita, mientras que la porción meridional muestra una topografía de menor relieve y corresponde a un granito de biotita; esta interpretación deberá confirmarse con trabajo de mayor detalle en el futuro próximo. Se conocen algunas fechas isotópicas en el noroeste de Sonora; Anderson y Silver (1974) definen edades de 60-95 m.a. para un evento intrusivo en este Estado.

Existen otras fechas isotópicas conocidas para intrusivos cercanos al Distrito de San Felipe. Para el Batolito de Aconchi, Anderson (comunicación verbal) obtuvo una edad de 58 m.a. por el método U-Pb usando zircón de una muestra colectada entre Puerta del Sol y Mazocahui; un poco más al sur, en la Sierra de Mazatán (aproximadamente a 95 km al sur de San Felipe), el mismo autor obtuvo una edad de 55 m.a. En base a lo anterior, se considera al batolito de la Sierra de Aconchi como del Terciario temprano. Hacia el sur de San Felipe, el batolito intrusión calizas que contienen mineralización de tungsteno; infortunadamente, su edad es dudosa.

Riolita porfídica.- Este nombre se utiliza para designar a un grupo de rocas de composición silíceas, incluyendo pequeños afloramientos de brechas intrusivas y un tronco, el cual debe ser considerado como la roca encajonante más importante en el distrito para la mineralización (Figuras 10 y 11). Aunque composicionalmente corresponde a un granito, se prefirió considerarlo como un pórfido riolítico para diferenciarlo del Batolito de Aconchi, ya que ambas unidades muestran diferencias mineralógicas y texturales bien marcadas. En lámina delgada, la riolita porfídica presenta fenocristales rectangulares de cuarzo (20%) hasta de 3 mm. La mayoría de ellos está redondeada mostrando bordes de reacción con la matriz. También contiene fenocristales de ortoclasa (15%), plagioclasa (12%), sericita (10%) y matriz (40%); como constituyentes menores cuenta con clorita, biotita y pirita. La matriz en muchos casos presenta una textura micrográfica entre el cuarzo y el feldespato alcalino; a diferencia del granito, la riolita porfídica presenta una matriz de grano fino. En la mayoría de los casos, la riolita porfídica muestra principalmente alteración argílica y

localmente cuarzo-sericítica. También se observaron calcita y epidota como minerales de alteración. La característica textural más sobresaliente en el pórfido riolítico probablemente es la presencia de fenocristales redondeados de cuarzo.

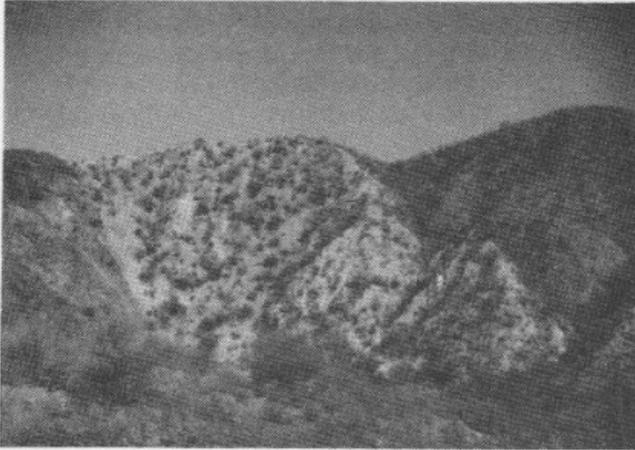


Figura 10.- Dique de riolita porfídica intrusionando a lavas y tobas andesíticas alteradas, cerca de la mina Artemisa.

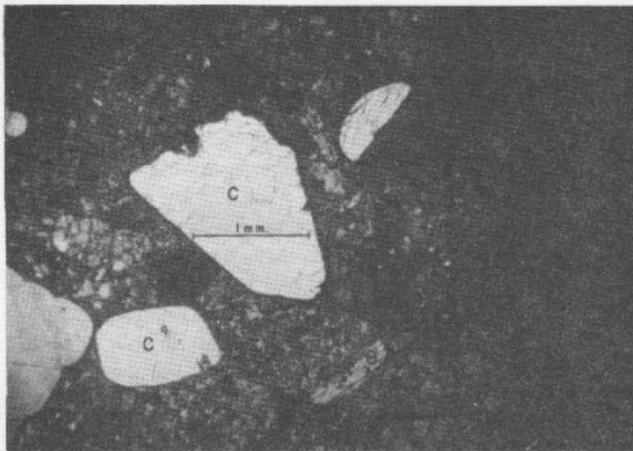


Figura 11.- Riolita porfídica en lámina delgada. Cuarzo corroído (C), plagioclasa (Pl), biotita (B) en una matriz de cuarzo y feldespato. Nícoles cruzados X 63.

En el presente artículo se ha designado como brecha intrusiva a una roca que consiste de fragmentos subangulares de un pórfido con fenocristales de feldespato alcalino, cementados en una matriz de composición riolítica, con abundantes muestras de fenocristales de cuarzo.

En lámina delgada solamente se observaron diferencias texturales, con la misma composición riolítica. En el terreno fue difícil separar estas rocas del pórfido riolítico, ya que en muchos casos los contactos son transicionales. Damon (1975, comunicación escrita) obtuvo una edad de 50.47 ± 1.06 m.a. para la riolita porfídica por el método K-Ar usando feldespato potásico. Se obtuvo otra fecha de 49.54 ± 1.02 m.a. por el método K-Ar, para sericita asociada con sulfuros de plomo y zinc en la mina Santa Rosa; ambas edades corresponden al Eoceno. Parece lógico que estas edades sean casi las mismas, ya que la mineralización sigue inmediatamente después de la intrusión.

Livingston (1973) reportó 10 edades de rocas vol-

cánicas e intrusivas del área de La Caridad-Pilares, en el Distrito de Nacozari, Sonora, que se localiza aproximadamente a 75 km al noreste de San Felipe de Jesús, que varían de 48.9 a 54.0 m.a., definiendo claramente un período intrusivo con mineralización asociada durante el Eoceno. Dicho período coincide con la edad obtenida para la riolita porfídica en San Felipe.

El significado económico de este tipo de intrusiones hipoabisales es bien conocido en algunos depósitos del Estado de Sonora, por su estrecha asociación con depósitos del tipo cobre porfídico, como La Caridad (Berchenbriter, 1975) y Cananea. Sin embargo, en el distrito minero de San Felipe de Jesús, son importantes en relación a depósitos de contacto y vetas mesotermales. Al respecto, Sillitoe (1973) ha mostrado claramente la estrecha relación entre troncos porfídicos y los depósitos de cobre porfídico y de contacto; estos últimos controlados por la presencia de rocas calcáreas favorables al reemplazamiento. En Cananea se ha descrito la presencia de depósitos de contacto con sulfuros de zinc y plomo.

Intrusivos andesíticos.- Se designa así a un grupo de rocas de composición andesítica que aflora en gran parte del área estudiada (Figura 4). Se presentan como pequeños cuerpos intrusivos de forma irregular que afloran al norte de la mina Cerro del Plomo. Se clasificaron algunas muestras en lámina delgada como andesita porfídica. Muestra fenocristales de plagioclasa, algunos normalmente zonados, cuya composición varía de labradorita a andesina (30%) y hornblenda (10%) reemplazada por biotita. La matriz (60%) presenta textura pilotaxítica y principalmente está formada de plagioclasa, hornblenda, piritita y algo de biotita. En lámina delgada las rocas están alteradas a epidota, calcita y clorita. Ninguna muestra proveniente de esta unidad fue usada para estudios geocronológicos; en base a sus relaciones de campo, se le asignó una edad oligocénica. Las andesitas están intrusionando a la riolita porfídica, al granito y aún a los diques pegmatíticos (Figura 9).

La importancia de estas rocas en relación a depósitos minerales es incierta, aunque parecen estar espacialmente asociados a mineralización de oro en la porción septentrional del área.

Estructura.- Como ya se ha mencionado, el área estudiada se localiza en la subprovincia fisiográfica de Sierras Alargadas (Raisz, 1964). En la Figura 2 se aprecia que la orientación preferencial de las sierras en esta porción del Estado es de NW-SE.

A escala local, el área se localiza en la ladera nororiental de la Sierra de Aconchi. Esta porción del Estado de Sonora se caracteriza por la presencia de pilares y fosas tectónicas, mostrando en los valles relleno de clásticos y rocas volcánicas (miocénicas o más jóvenes).

La Sierra de Aconchi representa un bloque levantado, presentándose en contacto de falla con la riolita porfídica o con clásticos no diferenciados de probable edad pliocénica. La riolita porfídica intrusióna a tobas y lavas de composición riolítica, así como a rocas metamórficas del Cretácico Temprano (Figura 4).

Las inclinaciones mostradas por los conglomerados miocénicos o más jóvenes se consideran consecuencia del depósito original y no producto de esfuerzos posteriores a éste, con excepción de ladeos ligeros producidos por fallas

normales. Las consideraciones anteriores se basan principalmente en geología regional y en el hecho de que la Formación Báucarit y clásticos más jóvenes fueron depositados como abanicos aluviales o como depósitos de talud; ambos muestran comúnmente inclinaciones pequeñas (20-25°). Esta consideración debe tenerse en mente, ya que el plano geológico muestra una estructura aparentemente dómica (Figura 4). El rumbo persistente en las rocas metamórficas es N60°W, con echados fuertes hacia el noreste y suroeste. En términos generales, esta unidad se encuentra altamente deformada, con cambios en valores de rumbo y echado en distancias muy cortas. No fue posible delinear más trazas de fallas, debido principalmente a la ausencia y discontinuidad de afloramientos buenos.

Probablemente el alto grado de deformación que muestra esta unidad se deba a plegamiento intenso, anterior al emplazamiento de los intrusivos, a fallamiento previo a la mineralización, o a la deformación dómica y al fallamiento producido por el batolito granítico y el tronco de pórfido riolítico.

Dentro del área estudiada, se observaron dos sistemas de fallas principales, uno con un rumbo general este-oeste que parece ser el más antiguo (Cretácico Tardío al Eoceno temprano), y otro que varía en rumbo de N30°W a N60°W (Mioceno temprano al Reciente).

Las fallas del sistema noroeste se consideran normales, perteneciendo al sistema de Sierras y Cuencas del suroeste de los Estados Unidos de América. Se puede afirmar esto porque las inclinaciones de los planos de falla observados en el campo son mayores de 60°, y porque el rumbo general de estas fallas coincide con el de las del sistema de Sierras y Cuencas mencionado anteriormente.

Stancioff y colaboradores (1973) observaron que este sistema de fallas parece controlar los rasgos fisiográficos actuales del noreste de Sonora, consideración que se aplica localmente en San Felipe.

El inicio del fallamiento de Sierras y Cuencas en esta parte de Sonora parece que sucedió durante el Mioceno temprano, como se interpreta por la edad de los basaltos incluidos en la base de la Formación Báucarit. Aplicando un razonamiento similar, Elston y colaboradores (1973) identificaron el inicio del fallamiento del sistema de Sierras y Cuencas del suroeste de Nuevo México, con la edad de los derrames de andesita basáltica que se encuentran interestratificados con areniscas, en la base del Conglomerado Gila y tienen una edad miocénica temprana (20.6 ± 0.5 m.a.). En el suroeste de Arizona, Drewes (1975, comunicación verbal) encontró que el inicio del fallamiento de Sierras y Cuencas se efectuó en el Mioceno. En relación con el Valle de San Bernardino, localizado aproximadamente 30 km al oriente de Agua Prieta (noreste de Sonora), Summer (1974) concluyó que las fallas referentes al sistema de Sierras y Cuencas de esta parte de Sonora son activas, después de llevar a cabo estudios geofísicos (sismológicos y gravimétricos) en una sección transversal del valle. Berchenbriter (1975) llegó tentativamente a la misma conclusión en el área de La Caridad, por lo cual sería posible una situación similar en el área de San Felipe.

Para observar claramente las características estructurales de la región, se obtuvo una amplificación de la imagen ERTS-1 que cubría esa zona, a una escala 1:500,000, en la cual se observa que las fallas con rumbo general N45°W (al sur del pueblo de Aconchi) cambian su rumbo a N80°W y

E-W. La misma deformación se observa en el lecho del Río Sonora, donde se emplazó el tronco de riolita porfídica; sin embargo, las fallas mineralizadas no pudieron apreciarse en esta imagen.

A escala local existen fallas normales de rumbo E-W (Figura 4) dentro del área de afloramiento de la riolita porfídica, que se encuentran mineralizadas en las minas San Felipe, La Ventana y La Mendocilla; parecen ser las más antiguas en el Distrito de San Felipe. Aunque no fue posible apreciar claramente la relación entre ambos sistemas de fallas, se supone que las de rumbo E-W son las más antiguas.

Además de los sistemas de falla descritos, existen otros de fracturas en el batolito y en el tronco que se muestran en el plano geológico. En el batolito de la Sierra de Aconchi, el rumbo de los diques pegmatíticos y de algunos andesíticos varía de N45°W a N60°W.

La Tabla 2 presenta la información estructural de las principales fallas mineralizadas, de la que pueden definirse tres sistemas de fallas: E-W, N40°E a N70°E y N30°W a N65°W. El primero está muy bien expuesto en el distrito y representa un sistema de fallas pre-minerales, mientras que los otros dos pueden representar el plano de estratificación en los sedimentos originales.

Tabla 2.- Información estructural de los cuerpos mineralizados en el Distrito de San Felipe

NOMBRE DE LA MINA*	RUMBO DEL CONTACTO FALLA O FRACTURA	ECHADO
San Felipe	E-W	80° S
La Ventana	E-W	70° S
La Mendocilla	E-W	---
Santa Teresa	N65°W	50°NE
La Bellotita	S85°W	70°NW
Las Lamas	S70°W	70°NW
Santa Rosa	N60°W	70°NE
Cerro del Plomo	Vetillas irregulares	---
Cornucopia	N60°E	---
Artemisa	N70°E	---
La Colorada	N30°W	65°NE
La Plomosa	N40°E	70°NW

* Las minas se encuentran localizadas en la Figura 4.

Resumen de eventos geológicos.- No existe información del tiempo Precámbrico ni del Paleozoico en el área de San Felipe. El registro geológico principia en el Mesozoico. Durante el Triásico y el Jurásico fueron depositadas predominantemente rocas clásticas de origen continental en Sonora central (King, 1939). Aparentemente, el área de depósito de la Formación Barranca estuvo restringida a la mitad noroccidental y porción meridional del Estado de Sonora, ya que no se han reportado rocas de esta edad en el noreste del Estado. En el área de San Felipe no existe información del Triásico ni del Jurásico.

El Cretácico Temprano está registrado con el depósito de calizas, limolitas y conglomerados, con algunos derrames y tobas; los fósiles encontrados en los horizontes calcáreos sugieren un ambiente marino nerítico. Probablemente durante el Cretácico Tardío, la región de San Felipe estuvo sujeta a erosión y actividad volcánica. El límite Cretácico-Terciario en Sonora y noroeste de México está caracterizado por una fuerte deformación estructural y por la intrusión de batolitos graníticos en un área amplia seguida por

la intrusión de troncos de composición diversa y por la extrusión de lavas.

Durante el Eoceno tuvo lugar la intrusión del tronco riolítico seguida por el emplazamiento de la mineralización de sulfuros. Las ignimbritas presentes en la unidad denominada "Derrames riolíticos" sugieren un volcanismo explosivo cuya edad es ligeramente más antigua que el emplazamiento del tronco. Damon (1966) observó que los principales procesos mineralizantes en el sur de Arizona fueron activos en el Eoceno. Posteriormente, la región de San Felipe estuvo sujeta a erosión, como se confirma por una discordancia muy clara en la base de la Formación Báucarit. A principios del Mioceno se inició el fallamiento de Sierras y Cuencas, con la consecuente extrusión de basaltos y emplazamiento de diques andesíticos. Por último, durante el Pleistoceno y el Reciente, la región estuvo sujeta a erosión con el depósito de las unidades conglomeráticas más jóvenes. Durante el Plioceno-Pleistoceno hubo actividad volcánica de composición basáltica, con rocas expuestas inmediatamente al sur del área (oriente de Baviácora) en los valles de los ríos Sonora y Moctezuma (Clark, 1975), sugiriendo la actividad del sistema de fallas y Sierras y Cuencas durante ese tiempo.

DEPOSITOS MINERALES

Mineralización en los alrededores de San Felipe.- La geología y mineralización presentes en la vecindad del Distrito de San Felipe se muestran en la Figura 12. Aproximadamente al oeste, se encuentra un colgante de calizas mesozoicas dentro del área de afloramiento del Batolito de Aconchi, denominado Cerro de Los Locos. En esta localidad se explotó en años recientes mineralización de plomo, zinc, cobre y plata (Reynoso, comunicación oral). De acuerdo con la información existente, las obras se encuentran abandonadas; sin embargo, este hecho no fue confirmado, aunque la mineralización parece ser similar a la del Distrito de San Felipe.

Hacia el sur, en la Sierra de Aconchi (Cerro del Batamonte y Arroyo de La Mora) (Figura 12), en 1963 fueron explotados depósitos de berilo asociados con pegmatitas simples por el Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN). En las obras mineras encontraron que la mineralización de berilo no profundiza y es muy errática. Aunque las pegmatitas son abundantes, no todas parecen contener berilo, muchas son estériles, compuestas exclusivamente por cuarzo, ortoclasa, biotita y muscovita; las micas se presentan solamente como pequeños cristales, la biotita es la más abundante. Se considera a las pegmatitas genéticamente asociadas al batolito de la Sierra de Aconchi. Este es uno de los pocos lugares de la República donde se ha producido berilo; se desconoce el volumen de la producción.

También en el Batolito de Aconchi, aproximadamente 19 km al suroeste de Baviácora, en la porción sur de la Sierra de Aconchi, fuera del área cubierta por el mapa geológico, se encuentra una localidad denominada El Jaralito con mineralización de tungsteno. Dichos depósitos se encuentran en los contactos entre el intrusivo granítico y la caliza de probable edad mesozoica. En contraste con la secuencia mesozoica de San Felipe, los colgantes de El Jaralito no contienen rocas volcánicas interstratificadas con las calizas. La ausencia de volcanismo puede significar que estas rocas sean de diferente edad. Por el momento, no contando

con información adicional, se consideran de edad mesozoica. Mills y Hokuto (1971) describen la geología y potencial económico de los depósitos de tungsteno en el área de Baviácora, incluyendo El Jaralito (Figura 12). La Compañía de Tungsteno de Baviácora trabajó estos depósitos hasta principios de 1975, operando un molino de 150 ton/día y beneficiando depósitos de "skarn" que contenían tungsteno de bajo grado (scheelita). Las calizas se encuentran altamente recristalizadas y exhiben abundante granate y wolastonita. Hacia el oriente, en la Sierra de Santa Margarita (Figura 12), se localizan la mina Washington y el Distrito Transvaal-Cobre Rico, con mineralización tipo cobre porfídico. En este último distrito también existen depósitos de sulfuros de plomo con algunos valores de cobre.

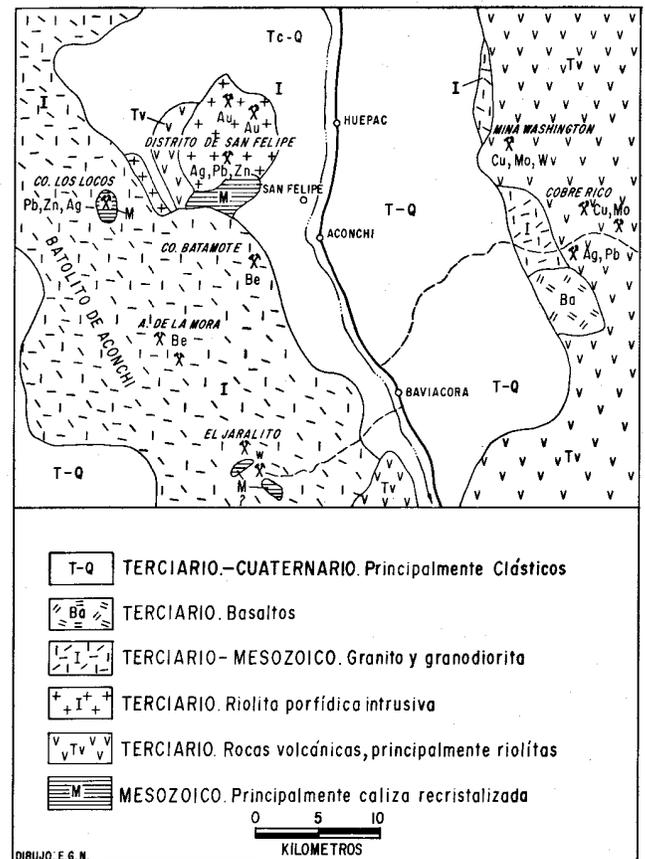


Figura 12.- Mineralización en los alrededores del Distrito San Felipe.

De lo anterior se desprende que en la vecindad del distrito minero de San Felipe existen principalmente dos tipos de depósitos: uno de cobre porfídico, incluyendo a la mina Washington y al Distrito Transvaal-Cobre Rico; mientras que el otro incluye los depósitos de contacto de El Jaralito y Cerro de Los Locos.

El distrito minero de San Felipe.- La literatura consultada no define al área de San Felipe como un distrito minero. Sin embargo, debido a que esta región muestra un tipo de mineralización bien definido, asociado a ciertas características geológicas, en este artículo se propone nombrarlo como tal (Figura 13).

Los depósitos existentes son en su mayoría de contac-

to, con sulfuros de plomo y zinc y valores económicos de cobre y plata. Existen también algunas vetas mesotermales. La porción septentrional contiene vetas de cuarzo con valores de oro, mientras que en el sur existen principalmente depósitos de contacto de plomo y zinc (Figura 4). Dentro

del Distrito de San Felipe, existen 12 localidades de interés económico, algunas no han sido explotadas, otras son minas abandonadas y sólo tres son minas activas operadas por la Compañía Minera Serrana y particulares. Casi todos los denuncios han sido por plata, plomo, zinc y oro.

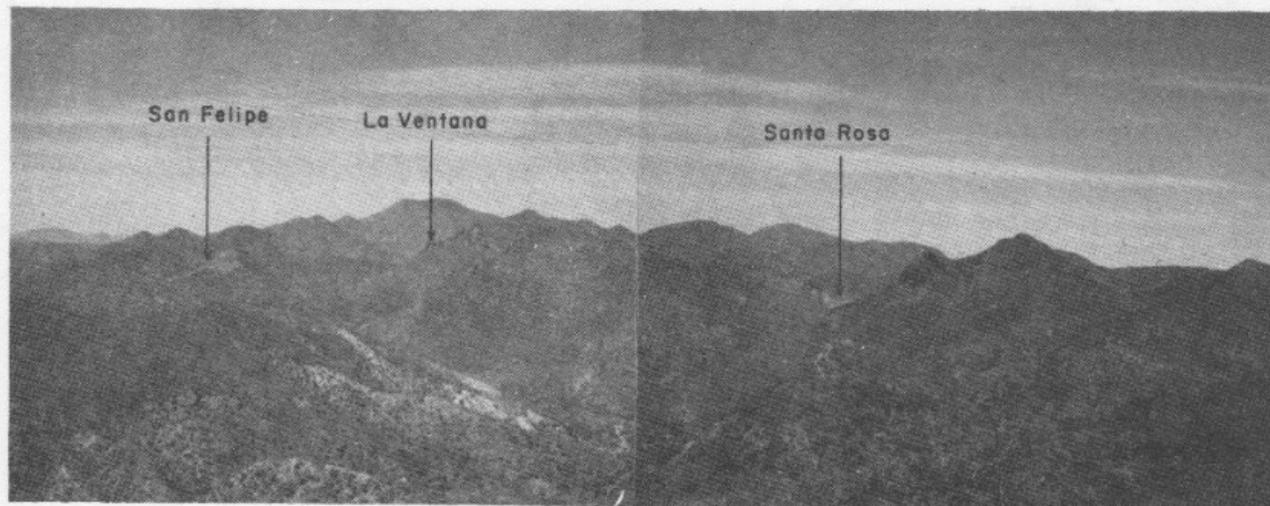


Figura 13.- Vista panorámica del Distrito de San Felipe. La mayor parte de la roca expuesta es la riolita porfídica. Cerca de la mina La Ventana, de un color oscuro, hay un crestone. La porción silicificada de la riolita porfídica está situada al oriente de la mina Santa Rosa. La fotografía fue tomada mirando hacia el norte.

Alteración hidrotermal.- En la Figura 4 se muestran algunas localidades con alteración hidrotermal, incluyendo silicificación, argilitización, propilitización y alteración cuarzo-sericítica local. Quizá la silicificación sea más común en el área localizada al sur de La Bellotita y en la mina San Felipe, por ejemplo. En ambas localidades, la riolita porfídica está altamente silicificada, los crestones, en su mayoría, están silicificados y en algunos casos constituidos exclusivamente por cuarzo.

En algunas láminas delgadas es posible observar que la biotita ha sido alterada a óxidos de hierro y sericita, encontrándose la matriz levemente alterada. En resumen, los minerales de alteración más importantes son cuarzo, sericita, calcita y minerales arcillosos.

En algunas de las áreas de alteración se colectaron muestras para análisis químico; sin embargo, ninguna mostró valores anómalos de molibdeno y, en la mayoría de los casos, las áreas lixiviadas presentan valores bajos de cobre.

En la mina Santa Rosa la mineralización de sulfuros está asociada con sericita, considerando este hecho como un fenómeno estrictamente local.

La propilitización en las andesitas de la unidad metamórfica está ampliamente distribuida y se caracteriza por abundancia anormal de epidota, clorita y pirita. En lámina delgada, la calcita y la epidota se presentan como agregados irregulares, representando ocasionalmente un 30% del volumen de la andesita; la hornblenda se encuentra generalmente alterada a clorita.

A continuación se describen tres de las minas del Distrito de San Felipe.

Mina San Felipe.- Se localiza aproximadamente a 7 km al N70°W del poblado de San Felipe de Jesús y a 500 m al noreste de la mina Las Lamas (Figura 4).

Desde el punto de vista geológico, este depósito se localiza en un contacto por falla entre la riolita porfídica y la unidad metamórfica que incluye calizas recristalizadas y algunas tobas y lavas andesíticas.

La mineralización se encuentra como relleno de falla con un rumbo general este-oeste y con echados que varían de 70 a 80° al sur. La falla es normal, mostrando el bloque hundido hacia el sur. En las minas La Ventana y La Mendocilla existen fallas mineralizadas similares.

La Figura 14 muestra la geología de la mina San Felipe; los dos niveles fueron cartografiados y una sección longitudinal muestra los trabajos existentes. En el nivel inferior, el rumbo de las vetas es este-oeste en su extremo occidental, cambiando a S60°E en su prolongación oriental.

Se explotan dos vetas con un espesor que varía entre 0.8 y 3.6 m, como se observa en las plantas de los niveles 735 y 777. Las texturas observadas son principalmente las de relleno de cavidades.

Una de las vetas muestra desplazamientos de dos metros en casos extremos, producidos por fallas normales de rumbo general N20°W. Se observaron también algunas fallas de bajo ángulo, con 10-20° de inclinación de sus planos de falla. Además de estas vetas, existe una zona de cuarzo masivo, con pirita diseminada de aproximadamente 5 m de espesor, localizada entre las dos vetas (Figura 14).

En la porción noroccidental del nivel superior, la veta tiene un espesor de 23 m, incluyendo una sección estéril de cuarzo masivo con algo de pirita. Los sulfuros masivos están distribuidos dentro de este intervalo. En detalle, las vetas de la mina San Felipe no siguen exactamente el contacto entre la riolita porfídica y la unidad metamórfica, como puede verse en la porción nororiental del nivel inferior (Figura 14). Parte de la roca encajonante de la mineralización es una andesita propilitizada que, a la entrada del nivel inferior, es una roca muy silicificada, con abundante clorita; sin embar-

go, su origen ígneo es fácilmente discernible.

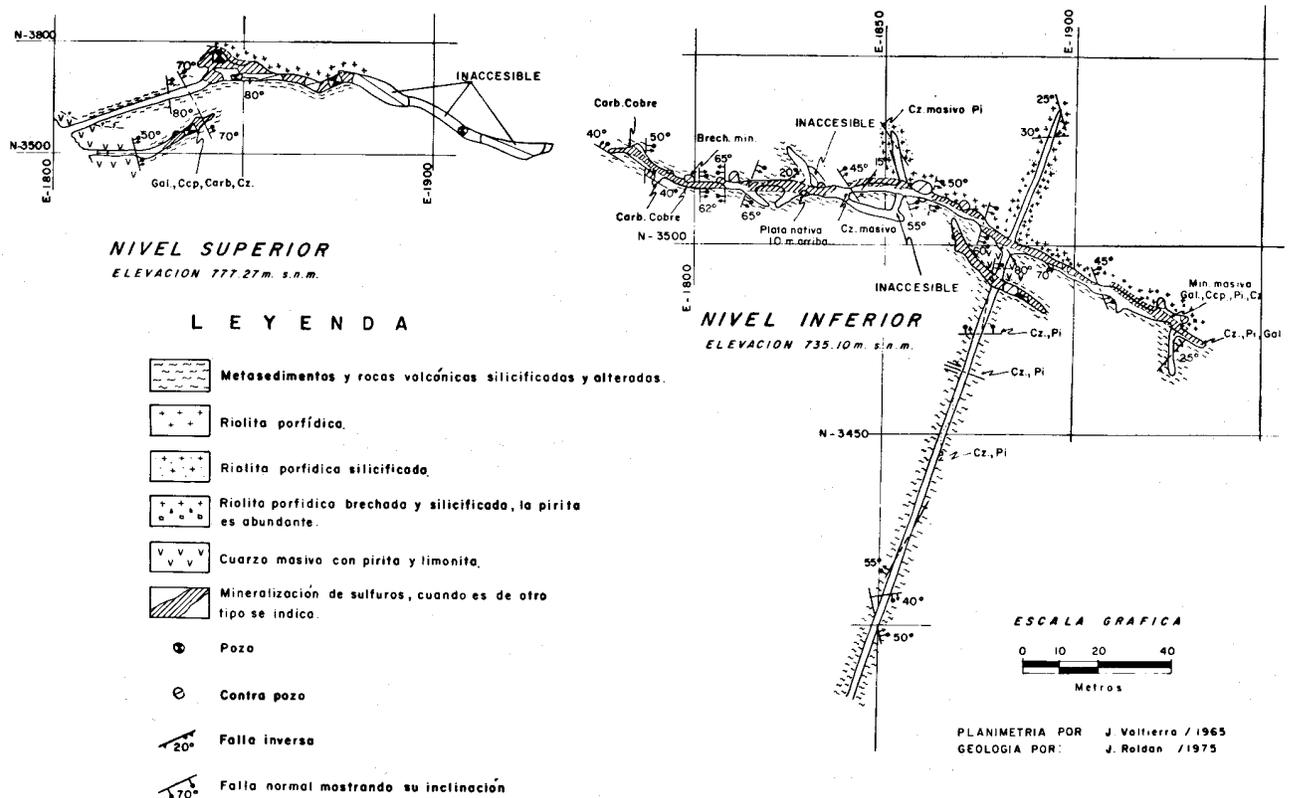


Figura 14.- Mapa geológico de la mina San Felipe, San Felipe de Jesús, Sonora.

En la mina San Felipe se presenta el mayor número de especies minerales de todo el distrito; la relación de plomo a zinc es también más alta en esta mina. Los minerales primarios observados son: galena, esfalerita, calcopirita y pirita; como minerales secundarios se identificaron malaquita, azurita, crisocola, cerusita, anglesita, calcita, covelita y nativa. El mineral de ganga más abundante es el cuarzo calcita en proporciones menores. En este depósito,

la calcopirita es más abundante, por lo que se producen abundantes minerales de cobre secundario.

Se hicieron algunos análisis de muestras de la mina San Felipe en los laboratorios del Consejo de Recursos Minerales en Sonora, usando el método de espectrometría de absorción atómica. Un análisis representativo de los dos niveles se muestra en la Tabla 3 (muestras A y B):

Tabla 3.- Análisis químicos de muestras procedentes de la mina San Felipe.

	Cu p.p.m.	Mo p.p.m.	Ag gr/ton	Au p.p.m.	Pb o/o	Zn o/o
A ⁺ Nivel Sup.-	197,000	8.0	1,060.0	0.8	17.4	2.16
B ⁺ Nivel Inf.-	tr	---	44.0	---	2.2	2.6
C ⁻ Nivel Sup.-	1,210	---	3,175.0	0.5	72.35	0.15
D ⁻ Nivel Sup.-	40,000	---	500.0	---	34.5	1*
E ⁻ Nivel Inf.	---	---	144.0	---	5.7	13.9

(+) - Análisis realizados en los laboratorios del Consejo de Recursos Minerales de Hermosillo.
 (-) - Análisis proporcionados por la Cía. Minera Serrana.
 (*) - Mineral seleccionado manualmente.

Para identificar los minerales opacos en las muestras de esta mina, se prepararon cinco secciones pulidas (Figura 15) y fueron estudiadas bajo microscopio utilizando luz reflejada. Después de llevar a cabo un estudio detallado de dichas muestras, no fue posible identificar algún mineral de

plata, por lo cual se seleccionó una muestra de galena tan pura como fue posible, de la que se hizo un análisis químico y una superficie pulida. En la sección pulida no pudo identificarse mineral de plata alguno (Figura 15); sin embargo, el análisis químico (muestra C del cuadro anterior) dio los

sultados que se presentan. De esta información se concluyó que la plata se encuentra en exsolución con la galena, lo cual es bastante común (Edwards, 1954).



Figura 15.- Superficie pulida de una mena de la mina San Felipe. Huecos de forma triangular en galena (G), gris claro cerusita (C), manchas azules covelita (Co), gris oscuro ganga (cuarzo). Nícoles paralelos X 100.

En los análisis químicos disponibles pudo apreciarse que los valores de cobre, plomo y plata son más altos en el nivel superior, debido probablemente a enriquecimiento supergénico, conclusión que podría confirmarse por los bajos valores de cobre en el nivel inferior, donde solamente existen trazas de este metal.

Con la información de que se dispone, puede decirse que la zona de enriquecimiento secundario tiene un espesor de aproximadamente 45 m; así, prácticamente todo el nivel superior se encuentra dentro de la zona de enriquecimiento. Los minerales presentes son: carbonatos de cobre y plomo, plata nativa y limonita abundante. Respecto a la paragénesis, solamente se estudiaron algunas superficies pulidas; sin embargo, en las muestras estudiadas, la esfalerita y la calcopirita en exsolución fueron las primeras en cristalizar, seguidas por la galena y por último la pirita.

También puede concluirse que el depósito de la mina San Felipe es mesotermal, de acuerdo con la clasificación genética modificada de Lindgren (1933).

Las texturas de relleno de cavidades dominan sobre las de reemplazamiento. La presencia de una alteración hidrotermal mesotermal (silicificación y alteración argílica) y la ausencia de minerales típicamente hipotermales o epitermales son características importantes de los depósitos mesotermales (Park y MacDiarmid, 1970).

La riolita porfídica es una de las rocas encajonantes en la mina San Felipe. Parece que el emplazamiento de la mineralización se efectuó después de la cristalización de la riolita. Esta mineralización podría representar un estado tardío de concentración y emplazamiento de fluidos genéticamente relacionados al tronco porfídico.

En la Figura 14 puede observarse que este depósito no ha sido explorado bajo el nivel 735, aunque la continuación de las vetas en las obras existentes es clara. Deberán esperarse sólo la existencia de sulfuros primarios y probablemente valores bajos de plata en la galena. También es probable que los valores de zinc aumenten con la profundidad.

Mina Santa Rosa.- A 2 km al norponiente de la mina

San Felipe y aproximadamente 6 km al N55°W del poblado de San Felipe de Jesús, se localiza la mina Santa Rosa (Figura 4).

Desde un punto de vista geológico, es un depósito de contacto emplazado en un colgante de calizas, dentro del área de afloramiento de la riolita porfídica. A diferencia de otras localidades, en ésta las calizas no muestran rocas volcánicas interestratificadas. Este afloramiento se interpreta como la parte inferior de la secuencia de rocas del Cretácico Temprano.

En la superficie se observó que el reemplazamiento es selectivo y se reconocieron dos horizontes calcáreos reemplazados con un espesor total de aproximadamente 20 m.

En el extremo noroccidental, el "gosan" también tiene un rumbo E-W, con un echado de 70° hacia el norte. En el extremo oriental del afloramiento, el contacto entre calizas y riolita porfídica es por falla. La caliza se encuentra completamente recrystalizada, mostrando granate en algunos lugares (principalmente en las fracturas).

En el interior de la mina (Figura 16) la forma del cuerpo mineralizado es tabular (manto), con una orientación N60°W y echados que varían de 65 a 80° hacia el noreste. El espesor máximo de la zona mineralizada es de 13 m, mostrando muchas ramificaciones que fueron probablemente producidas por un reemplazamiento selectivo.

Este depósito no muestra mayor deformación estructural. Además de la mineralización de sulfuros, en estudios anteriores llevados a cabo por la Cía. Minera Serrana, se pudieron identificar algunas vetillas de scheelita con cuarzo y pirita, ocasionalmente con sericita. En el subsuelo las principales rocas encajonantes son la caliza metamorfoseada y la riolita porfídica, que en muchos lugares se encuentra intrusando a los estratos calcáreos.

En los afloramientos superficiales se observó que la mineralización no continúa en la roca intrusiva, y parece estar restringida a la caliza.

La alteración hidrotermal principal en la mina Santa Rosa es la silicificación; sin embargo, se observó abundante sericita con la mineralización, de la que se obtuvo una muestra para estudios isotópicos (Damon, comunicación escrita, 1975). De esta muestra se obtuvo una edad de 49.54 ± 1.02 m.a. usando el método K-Ar. En la superficie se apreció la argilitización de las calizas, fenómeno de metasomatismo difícil de explicar; sin embargo, puede verse claramente que la roca alterada fue una caliza, ya que todavía muestra fragmentos identificables de fósiles.

La mineralización se presenta en un "skarn" de grosularita y wolastonita. No obstante, la segunda no se encuentra ampliamente distribuida. El mineral más común en el "skarn" es la grosularita (70%), mostrando anisotropismo anómalo, minerales opacos, clorita (6%) y calcita (10%).

De la mineralización de Santa Rosa se obtuvieron los análisis que se muestran en la Tabla 4.

En las secciones pulidas se identificaron los minerales de mena siguientes: calcopirita, galena, esfalerita, pirita, huebnerita, covelita y marcasita (Figura 17). La distinción entre marcasita y pirita en sección pulida se realizó utilizando los criterios de anisotropismo e idiomorfismo. En esta mina pueden observarse los cristales de scheelita con cuarzo y sericita.

Con el resultado de los análisis anteriores, se puede apreciar que los valores de zinc son generalmente más altos

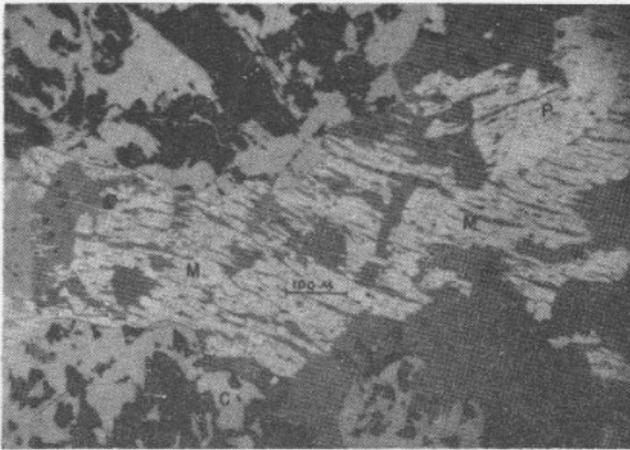


Figura 17.- Superficie pulida de una mena de la mina Santa Rosa. Pirita (P), marcasita (M) en los bordes de cristales de pirita, esfalerita (E), calcopirita (C), áreas negras, ganga. Nícoles paralelos X 100.

Mina Las Lamas.- La mina Las Lamas (Figura 4) es muy similar a la de Santa Rosa; un análisis químico representativo para la mineralización de este yacimiento es: Pb 0.004%, Zn 12.4%, Ag 168.0 gr/ton.

En general presenta valores altos de zinc y plata y valores bajos de plomo y cobre, en base a un muestreo más amplio llevado a cabo por la Cía. Minera Serrana. La forma del cuerpo mineralizado es tabular, con un rumbo general $S70^{\circ}W$ y con un echado de 70 a 80° hacia el noroeste; el espesor varía de 2 a 5 m. Su mineralogía consiste principalmente de sulfuros; sin embargo, la esfalerita es de un color verde oscuro, probablemente de la variedad denominada marmatita. Existen también calcopirita, generalmente en exsolución con la esfalerita, pirita, galena y, en proporciones menores, marcasita rodeando a los cristales de pirita o en vetillas. Se identificaron además de pirrotita (en cristales muy pequeños incluidos en la pirita), pequeñas vetillas de magnetita con calcita, que aparentemente corresponden a otro período mineralizante posterior, probablemente relacionado con el fallamiento $N20^{\circ}E$ a $N15^{\circ}W$. La secuencia paragenética observada en las muestras estudiadas es la siguiente: la esfalerita fue el primer mineral en cristalizar, se encuentra comúnmente en exsolución con calcopirita; fue seguida por galena, pirita y, por último, la marcasita reemplazando a la pirita. La alteración hidrotermal prevaeciente en esta mina es la silicificación (Figura 18). La clasificación genética de este depósito es de contacto, tomando en cuenta que las texturas son de reemplazamiento y su mineralogía consiste en magnetita, pirrotita, wolastonita y hedenbergita.

Además de las minas ya descritas, existen algunos otros prospectos con características de alteración y mineralización muy similares, como es el caso del Cerro del Plomo (Figura 19).

Planta de beneficio.- La explotación de algunas de las minas del Distrito de San Felipe se reinició en 1974, al acondicionar las minas Santa Rosa, Las Lamas y San Felipe, así como con la construcción de una planta de beneficio con capacidad de 100 ton/día (Figura 20). La planta fue diseñada para la concentración de sulfuros de plomo y zinc con valores de cobre y plata de las minas Santa Rosa y Las

Lamas. Todos los yacimientos se encuentran dentro de un radio de 10 km de la planta de beneficio, que es de flotación selectiva, y producirá dos concentrados, uno de zinc y el otro de cobre, plomo y plata.

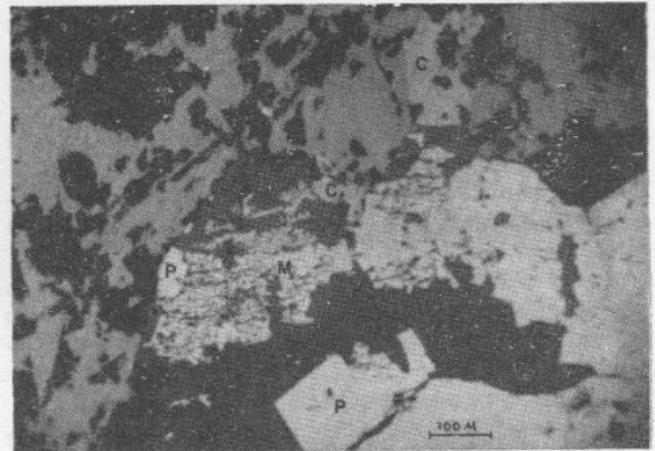


Figura 18.- Superficie pulida de una mena de la mina Las Lamas. Pirita euhedral (P), marcasita (M) reemplazando pirita, calcopirita (C), esfalerita (E) y ganga. Nícoles paralelos X 100.

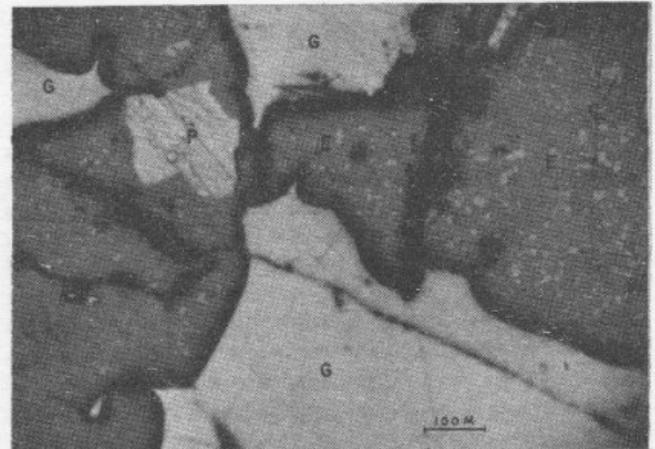


Figura 19.- Superficie pulida de una mena del prospecto Cerro del Plomo. Texturas de exsolución entre esfalerita (E) y calcopirita (C), galena (G) reemplaza a ambos minerales, pirita incluida en la esfalerita (P). Nícoles paralelos X 100.

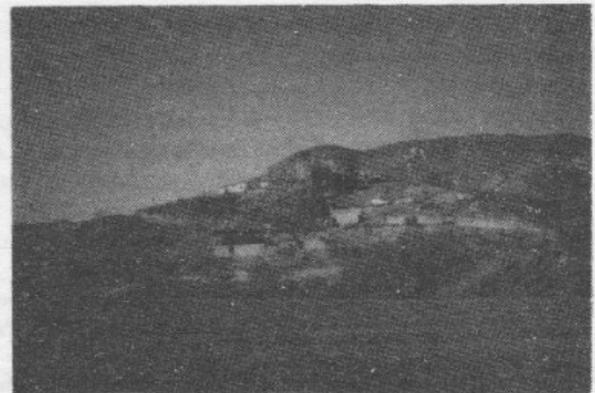


Figura 20.- Vista de la construcción de la planta de beneficio en el Distrito de San Felipe. Se localiza aproximadamente un kilómetro al sur del poblado de San Felipe de Jesús. El batolito de la Sierra de Aconchi se aprecia en segundo plano.

CONCLUSIONES

En relación a las edades isotópicas, la del tronco de riolita porfídica coincide con la época mineralizante del Eoceno, ampliamente reconocida en el noroeste de México. Los derrames basálticos en la base de la Formación Báucarit se consideran genéticamente asociados al fallamiento de Sierras y Cuencas que se inicia en el Mioceno en esta porción de Sonora.

Desde el punto de vista estructural, la característica más sobresaliente a escala local la constituyen fallas normales de rumbo N30°-60°W, las cuales probablemente son activas en esta porción de Sonora. Existen además fallas normales mineralizadas más antiguas, de rumbo E-W.

En el Distrito de San Felipe se reconocieron dos tipos de mineralización, depósitos de contacto (minas Santa Rosa y Las Lamas) y depósitos mesotermales (San Felipe). Asimismo, se considera este distrito potencialmente importante para contener depósitos del tipo cobre porfídico.

A escala regional se recomienda tratar de localizar otros troncos de este tipo en los bordes del Batolito de Aconchi, ya que son de importancia primordial en la explotación minera de esta región del país.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Dr. Kenneth F. Clark su continuo apoyo durante la realización de este trabajo; al Consejo de Recursos Minerales, las facilidades proporcionadas en sus laboratorios. El Dr. Guillermo A. Salas ayudó en diversas formas al autor y el Dr. Ariel Echávarri, de la Universidad de Sonora, supervisó los estudios petrográficos. El Sr. Pedro Trelles y el Ing. Rigoberto Reynoso, de la Compañía Minera Serrana, proporcionaron ayuda durante el trabajo de campo. El Dr. Paul Damon, Jefe del Laboratorio de Geoquímica de la Universidad de Arizona, gentilmente realizó los estudios geocronométricos, mediante un convenio de colaboración con el Consejo de Recursos Minerales. El Instituto de Geología, a través de su Oficina Regional de Noroeste, permitió llevar a cabo estudios geológicos en áreas vecinas a esta región y proporcionó tiempo para preparar el presente estudio. Resulta difícil dar testimonio de gratitud a todas aquellas personas e instituciones que, de una u otra forma, hicieron posible la realización del presente artículo; para todas ellas mi agradecimiento

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anderson, T.H., y Silver, L.T., 1974, Late Cretaceous plutonism in Sonora, Mexico and its relationship to circum-Pacific magmatism: *Geol. Soc. America, Abstr. with Programs*, v. 6, p. 484, (resumen).
- Anónimo, 1974, The Cía. Minera Serrana: *Eng. Min. Jour.*, oct. 1974, p. 132.
- Berchenbriter, D.K., 1975, *Geology of La Caridad fault, Sonora, Mexico*: *Geol. Soc. America, Abstr. with Programs*, v. 7, p. 587-588, (resumen).
- Bonneau, Michel, 1971, Una nueva área cretácica fosilífera en el Estado de Sinaloa: *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, v. 32, p. 159-167.
- Clark, K.F., 1975, *Geologic section across central Sonora, Mexico*: *Geol. Soc. America, Abstr. with Programs*, v. 7, p. 596, (resumen).
- Damon, E. P., 1966, New K-Ar dates for the southern Basin and Range Province: *in Correlation and chronology of ore deposits and volcanic rocks Ann. Prog. Rept.*, No. C00-689-130 p. 435-448.
- Edwards, A.B., 1954, Textures of the ore minerals and their significance: Melbourne, Australian Institute of Mining and Metallurgy, p. 1-31.
- Echávarri-Pérez, Ariel, 1978, *Metallogenetic map of Sonora, Mexico*: *Arizona Geological Society Digest*, v. XI, p. 145-154.
- Elston, W.E., et al., 1973, Tertiary volcanic rocks, Mogollon-Datil Province, New Mexico and surrounding region; K-Ar dates, patterns of eruption and periods of mineralization: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 84, p. 2259-2274.
- Fries, Carl, Jr., 1962, Reseña de la geología del Estado de Sonora, con énfasis en el Paleozoico: *Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros*, v. 14, p. 257-273.
- García, E.L., 1970, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koeppen (para adaptarlo a las condiciones de la Rep. Mexicana): México, D.F., Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geografía, 246 p.
- González-León, Carlos, 1978, *Geología del área de Arizpe, Sonora centro septentrional*: Hermosillo, Univ. Sonora, tesis profesional, 66 p., inédita.
- Heindl, A.L., 1952, *Gila Conglomerate*: Tucson, Arizona Geol. Society, Guidebook of Southern Arizona, p. 113-116.
- Imlay, R.W., 1939, *Paleogeographic studies in northeastern Sonora*: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 50, p. 1723-1744.
- Islas-López, Jaime, 1971, *Informe de exploración, Zona 51 (área de San Felipe, Son.)*: Hermosillo, Cons. Rec. Minerales, Residencia Sonora, 3 p., informe inédito.
- King, R.E., 1939, *Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico*: *Geol. Soc. America Bull.*, v. 50, p. 1625-1722.
- Lindgren, Waldemar, 1933, *Mineral deposits*: New York, McGraw-Hill, 930 p.
- Livingston, E.D., 1973, *Geology, K-Ar ages and Sr isotopy at La Caridad, Nacoziari, Sonora, Mexico*: Tucson, Arizona Univ., Geosci. Dept., circ. 80, 32 p.
- Mills, A.R., y Hokuto, A.C., 1971, *Geología y potencial del mineral de tungsteno del área de Baviácora, Sonora*: Hermosillo, Son., Asoc. Ing. Minas, *Geol. y Metal. México*, IX Conv., mem., p. 491-503.
- Morales-Campos, Manuel, 1970, *Actividad minera actual en el Estado*: Hermosillo, Univ. Sonora, I Seminario sobre el desarrollo de la actividad minera en el Estado de Sonora, p. 99-105.
- Park, F. C., and MacDiarmid, A.R., 1970, *Ore deposits*: San Francisco, W. H. Freeman and Company, 522 p.
- Raisz, Erwin, 1964, *Landforms of Mexico*: Cambridge, Mass., mapa con texto, esc. aprox. 1:3,000,000.
- Rangin, Claude, 1977, Sobre la presencia de Jurásico Superior con amonitas en Sonora septentrional: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista*, v. 1, p. 111-112.
- Roldán-Quintana, Jaime, y Rangin, Claude, 1978, *Las rocas volcánicas jurásicas en el norte del Estado de Sonora*,

- México: Hermosillo, Univ. Sonora, I Simposio sobre la geología y potencial minero del Estado de Sonora, Resúmenes, p. 111-112, (resumen).
- Roldán-Quintana, Jaime, y Nájera-Garza, Jesús, en preparación, Sobre la edad de la Formación Báucarit: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista.
- Schramm, E.F., 1932, Report on Artemisa Mines Ltd., located in Sonora, Mexico, with a description of the ore deposits: informe inédito.
- Sillitoe, R.H., 1973, The tops and bottoms of porphyry copper deposits: *Econ. Geology*, v. 68, p. 799-815.
- Solano-Rico, Baltazar, 1975, Some geologic and exploration characteristics of porphyry copper deposits in a volcanic environment, Sonora, Mexico: Tucson, Arizona Univ., tesis de maestría, 86 p., inédita.
- Stancioff, E., Mc Donald, C., y Hackman, R.J., 1973, ERTS application to mineral exploration in Sonora, Mexico: Sioux Falls, Management and utilization of remote sensing data Symposium, Proc., p. 313-332.
- Summer, R.J., 1974, Sonoran earthquake of 1887: in Geophysical and geological reconnaissance of San Bernardino Valley, Sonora: Bethlehem, Lehigh Univ., informe de avance, inédito.