

## GEOLOGÍA DE LA HOJA BAVIÁCORA, SONORA

Jaime Roldán-Quintana\*

### RESUMEN

La Hoja Baviácora está ubicada 100 km al NE de Hermosillo y tiene por límites las coordenadas 29°30'-29°45' N y 110°00'-110°20' W; cubre un área de aproximadamente 900 km<sup>2</sup>. Se localiza en la subprovincia de Cordilleras Alargadas de la provincia de la Sierra Madre Occidental. Desde el punto de vista fisiográfico, destacan las sierras de El Jaralito-Aconchi y, hacia el sur, de Pajaritos.

La geología del centro de Sonora se caracteriza por una gran abundancia de rocas volcánicas e intrusivas, principalmente terciarias. Las intrusivas forman parte de un gran cinturón batolítico que cruza el Estado de Sonora en dirección NW-SE. A nivel local, las rocas más antiguas que afloran en la región son paleozoicas (?), las cuales a principios del Terciario fueron metamorfoseadas a *skarn*, mármol, cuarcita y esquisto. Estas rocas afloran como colgantes en la región de El Jaralito. La unidad volcánica más antigua consiste en derrames de andesita y de riolita y en toba riolítica alteradas hidrotermalmente. La edad de estas rocas es prebatolítica, probablemente ubicada entre el Cretácico Tardío y el Eoceno temprano. Concordantemente (?), cubre a la unidad anterior una secuencia de rocas volcánicas y volcánicas que consiste en conglomerado, arenisca tobácea y riolita en forma de derrames de lava, tobas, diques y domos. Por su posición estratigráfica, se considera una edad del Mioceno temprano al Oligoceno para las rocas de esta unidad. Sobre unidades más antiguas, discordantemente, se encuentra capas rojas, arenisca tobácea y limolita del Neógeno [Mioceno (?)], edad que fue determinada por palinomorfos. Sobre esta unidad, discordantemente, se presenta la Formación Báucarit, la cual consiste en conglomerado, brecha y derrames de basalto interestratificados. Cubriendo a unidades más antiguas, en la porción nororiental de la hoja, se presenta derrames de basalto. Por último, en el valle del río Sonora, se separó otras dos unidades clásticas terciarias. Los sedimentos más jóvenes corresponden a aluvión cuaternario. Estas rocas intrusivas forman parte de un gran batolito, cuya composición litológica varía desde granito hasta cuarzomonzonita y granodiorita, del cual se ha obtenido edades radiométricas que varían desde 51 hasta 69 Ma. Químicamente, las rocas del batolito corresponden a la serie calcalcalina. El batolito está cortando a las rocas paleozoicas (?) y a la unidad de rocas volcánicas más antiguas. Otros intrusivos más jóvenes consisten en pórfido riolítico, granito de muscovita y diques pegmatíticos y andesíticos.

En el aspecto estructural, destaca un sistema de diaclasas y fallas normales con rumbo N60°W. En afloramientos aislados, se observó rasgos estructurales producidos por deformación del tipo *core complex*, que consisten en alineación en el granito y fallas normales de ángulo bajo.

En cuanto a la geología económica, actualmente sólo existe explotación a nivel de pequeña minería o, bien, gambusinaje. Con base en la información publicada y en la proporcionada por este estudio, se concluye que en la Hoja Baviácora hay los tipos de yacimiento siguientes: (1) vetas de oro y plata con un contenido subordinado de plomo, cobre y zinc; (2) depósitos de contacto de hierro y de tungsteno; (3) un prospecto de molibdeno en vetillas; (4) pegmatitas con muscovita, cuarzo, ortoclasa, microclina, albita y almandino. Asimismo, se concluye que gran parte de la mineralización se encuentra asociada genéticamente con rocas del batolito o, bien, que éstas son las rocas encajonantes de las vetas.

Palabras clave: geología regional, yacimientos minerales, Baviácora, Sonora, México.

### ABSTRACT

The Baviácora Quadrangle is located 100 km NE of Hermosillo. It is limited by the coordinates 29°30'-29°45' N and 110°00'-110°20' W and covers an area of about 900 km<sup>2</sup>. It is located in the Elongated Ranges subprovince of the Sierra Madre Occidental. The physiographic features that stand out in this area are the El Jaralito-Aconchi and, to the south, the Pajaritos sierras.

The geology of central Sonora is characterized by a great abundance of volcanic and intrusive rocks, mainly of Tertiary age. The intrusive rocks are part of a large batholithic belt which crosses the State of Sonora in a NW-SE direction. In the Baviácora Quadrangle, the oldest rocks are *skarn*, marble, quartzite and schist of probable Paleozoic age that were metamorphosed at the beginning of the Tertiary period; these rocks crop out as roof pendants in the area of El Jaralito. The oldest volcanic unit consists of hydrothermally altered andesite and rhyolite lava flows and rhyolitic tuff; these rocks are pre-batholithic in age, probably Late Cretaceous to early Eocene. Overlying that unit with a concordant contact is a volcanoclastic and volcanic sequence consisting of conglomerate, tuffaceous sandstone, and rhyolite as lava flows, tuffs, dikes and domes; the rocks of this unit are considered to be of early Miocene to Oligocene age because of their stratigraphic position. Unconformably overlying the older units are red beds, tuffaceous sandstone and siltstone of Neogene [Miocene (?)] age, determined by palynology. Resting unconformably on the previous unit is the Báucarit Formation, which consists of conglomerate, breccia and interbedded basaltic flows. There

\* Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 1039, Hermosillo, Sonora 83000

are younger basaltic flows covering the older units in the northeastern part of the quadrangle. Lastly, in the valley of the Sonora river, two other clastic units of Tertiary age were mapped; the youngest sediments correspond to Quaternary alluvium. These intrusive rocks are part of an extensive batholith which varies in composition from granite to quartz monzonite and granodiorite and in radiometric age from 51 to 69 Ma. Chemically, the rocks of the batholith correspond to the calc-alkalic series. The batholith intrudes the Paleozoic (?) rocks and the oldest volcanic unit. Younger intrusives consist of porphyritic rhyolite, muscovite granite and pegmatitic and andesitic dikes.

The most evident structure is a system of fractures and normal faults striking N60°W. Structural features produced by deformation of the core complex type consisting of lineation in the granite and the presence of low angle normal faults were observed in isolated outcrops.

As far as economic geology is concerned, mining is carried out only at a very small scale at present. Published information and data provided by this study indicate that the following types of ore deposits are present in the Baviácora Quadrangle: (1) fissure veins bearing gold and silver with minor lead, copper and zinc, (2) contact deposits of iron and of tungsten; (3) veinlets of molybdenum; and (4) pegmatites with muscovite, quartz, orthoclase, microcline, albite and almandine. It is concluded that a substantial part of the mineralization is genetically associated with batholithic rocks or that these rocks host the veins.

**Key words:** regional geology, ore deposits, Baviácora, Sonora, Mexico.

## INTRODUCCIÓN

### OBJETIVO

Es notoria la falta de cartografía geológica publicada del Estado de Sonora. Actualmente, sólo existen las cartas geológicas 1:1'000,000 (DGG, 1982) y 1:250,000 (INEGI, 1982); a escalas de 1:50,000, con mayor detalle, únicamente existen algunas cartas de áreas aisladas.

A pesar del problema anterior, muy pocas instituciones llevan a cabo cartografía geológica, debido a varias razones, la más importante de las cuales es el aspecto económico. Para remediar esta situación, aun cuando sea parcialmente, el Instituto de Geología ha realizado proyectos de cartografía de manera esporádica. Con anterioridad, se estudió la geología y yacimientos minerales del distrito de San Felipe, Sonora, a 30 km al NW de Baviácora (Roldán-Quintana, 1979); desde entonces, se consideró importante llevar a cabo la cartografía de la Hoja Baviácora. El presente estudio es un resumen de la geología y yacimientos minerales de la hoja mencionada. Se decidió elaborarlo por considerar que en esta zona se vería algunas relaciones importantes entre el batolito El Jaralito y sus rocas encajonantes. Además, debido a que en la región de Baviácora existen múltiples manifestaciones de mineralización, uno de los objetivos fue aclarar la relación entre la mineralización y las rocas encajonantes; otro fue ampliar la utilidad de las edades radiométricas que se había publicado hasta esa fecha (Damon, 1983) de esta región, proporcionando una base geológica. Por razones editoriales, fue necesario reducir y, consecuentemente, simplificar el mapa, sobre todo en lo que se refiere a la toponimia. En caso necesario, se sugiere consultar el mapa topográfico (CENTENAL, 1975) con la toponimia completa.

### LOCALIZACIÓN Y ACCESO

La Hoja Baviácora se localiza aproximadamente 100 km al noreste de Hermosillo, en la porción centrooriental del Estado de Sonora; cubre una superficie de 900 km<sup>2</sup>, en los municipios de Baviácora, Ures y Villa Pesqueira (Figura 1).

El acceso por el norte se hace mediante la carretera que viene de Agua Prieta y Cananea, para continuar por el valle del río Sonora. Desde Hermosillo, se tiene acceso al área transitando 9 km hacia el norte por la Carretera Federal 15, continuando hacia el oriente por la Carretera Estatal 21, pasando por Ures y Mazocahui; el recorrido es de aproximadamente 100 km hasta la zona de estudio.

Dentro del área estudiada el poblado más importante es

Baviácora y de importancia menor son El Bagote, La Capilla, El Molinote, El Herrero, La Labor, La Aurora y Mazocahui. Todos estos poblados se localizan dentro del valle del río Sonora. En el resto del área, sólo existen ranchos donde viven una o dos familias y muchos de ellos no tienen habitantes permanentes.

En total, el municipio de Baviácora contaba en 1984 con 9,322 habitantes, distribuidos en 22 localidades (INEGI, 1984).

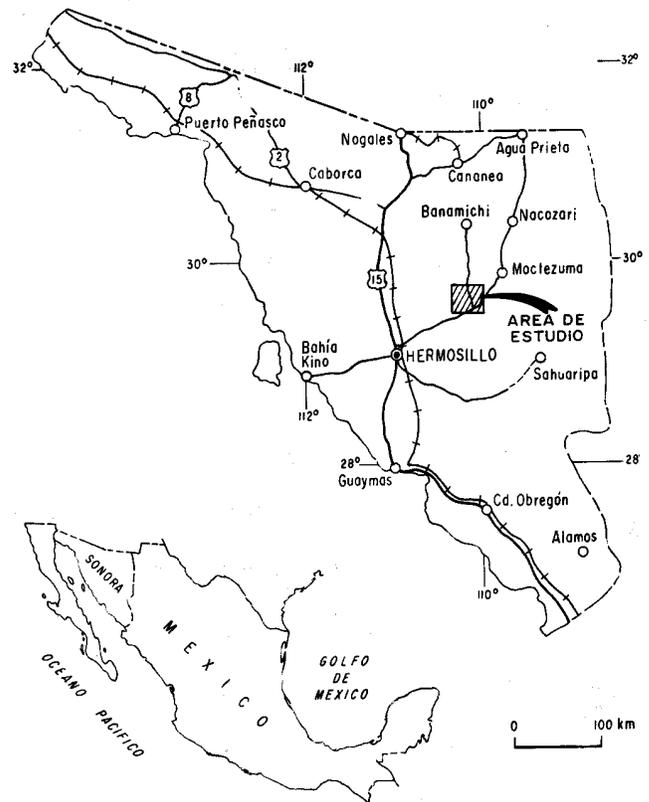


Figura 1.- Mapa de localización de la Hoja Baviácora.

### ESTUDIOS PREVIOS

Antes del presente estudio, sólo habían sido investigadas

porciones pequeñas de la Hoja Baviácora con diferentes objetivos, pero ninguno de ellos fue un estudio geológico integral de toda la hoja. Mills y Hokuto-Castillo (1971) elaboraron el primer estudio publicado sobre esta región, y describieron la geología y mineralización de tungsteno de la región de El Jaralito-San Antonio; aunque ese estudio se enfocó al aspecto económico, incluyó el primer mapa geológico de esta zona. Chávez-Aguirre (1978) realizó un estudio geológico-metalogenético de carácter regional, que abarcó una porción del sector noroccidental de la Hoja Baviácora. Sobre geología económica, Aguirre (1983) elaboró una evaluación de los yacimientos minerales de la región del río Sonora, en un área que coincide aproximadamente con la del estudio de Chávez-Aguirre (*op. cit.*). Por último, Peabody (1979) llevó a cabo una investigación sobre la geología y petrología del *skarn* de tungsteno de la región de El Jaralito, misma que incluye observaciones interesantes sobre las rocas intrusivas. En el mapa geológico se muestra un índice cartográfico de los estudios mencionados (Figura 2). Además, existen las hojas geológicas, ya referidas, publicadas por la Secretaría de Programación y Presupuesto, que contienen información de carácter regional.

## GEOLOGÍA

### FISIOGRAFÍA

La Hoja Baviácora se localiza en la subprovincia fisiográfica de Cordilleras Alargadas de la provincia de la Sierra Madre Occidental (Raisz, 1964), caracterizada por sierras alargadas en dirección NW-SE, generalmente limitadas por fallas normales y separadas por valles rellenos de rocas clásticas terciarias, como en el caso del bloque que forman la sierra de Aconchi-El Jaralito y la sierra de Pajaritos, esta última al sur, fuera de la hoja.

La Hoja Baviácora cubre una zona de topografía accidentada, donde las elevaciones mayores están en la porción sudoriental, en la sierra de El Tiznado, con 1,760 m. s. n. m. En la región de El Jaralito, el cerro Los Moros tiene una elevación de 1,520 m. s. n. m. y el cerro El Baviso de 1,540 m. s. n. m. Hacia el sur de El Jaralito, existen otras elevaciones importantes, como el Cerro de la Mojonera, con 1,420 m. s. n. m. y el cerro El Peñascal, con 1,540 m. s. n. m. Por último, en la esquina nororiental de la hoja, se encuentra la sierrita de Baviácora con 1,320 m. s. n. m. El punto más bajo dentro de la hoja, 450 m. s. n. m., se localiza en la parte meridional, dentro del cauce del río Sonora. En el área estudiada, destaca la sierra de Aconchi-El Jaralito, en la porción occidental. Otro rasgo morfológico importante es el valle del río Sonora. La porción oriental de la Hoja Baviácora, en su mayor parte, presenta un relieve más bajo con alturas menores que 800 m. s. n. m.

### PANORAMA GEOLÓGICO REGIONAL

En la Hoja Baviácora afloran rocas precámbricas al norte del complejo batolítico Aconchi-El Jaralito, mismas que consisten en metasedimentos, granito y gneis. Algunas fueron fechadas por Anderson y Silver (1979) obteniéndose desde 1,600 hasta 1,800 Ma. Los granitos presentan textura gráfica, de manera similar al granito Aibó de la región de Caborca, el cual fue fechado en 1,100 Ma.

Al oeste de la Hoja Baviácora, en la región de la mina El Crestón, León y Miller (1981) reportaron rocas de edad precámbrica (?). Al W y NW de Ures existen afloramientos del Paleozoico

superior. Del Mesozoico sólo se conoce afloramientos del Cretácico, localizados aproximadamente 30 km al norte de la hoja en la región de San Felipe, donde afloran rocas fosilíferas cretácicas, mismas que están expuestas hacia el NW, en la región de Cerro de Oro.

Las rocas del Terciario están principalmente en los valles del río Sonora y de Ures-Rayón, estando representado por rocas clásticas continentales y rocas volcánicas de diversas composiciones. Las rocas clásticas terciarias afloran en la parte nororiental de la Hoja Baviácora; representan la extensión más meridional de una cuenca terciaria que se extiende, con 80 km de longitud aproximadamente y anchuras que varían de 5 a 25 km, desde Arizpe, en el norte, hasta el sur de Baviácora. Las rocas intrusivas de dimensiones batolíticas, terciarias, forman el cuerpo principal de las serranías más altas de esta región.

En esta porción de Sonora, las rocas intrusivas cubren grandes superficies, probablemente mayores que 2,500 km<sup>2</sup>, y constituyen el mayor afloramiento de dichas rocas en todo el estado. Como se verá posteriormente, se trata de un batolito compuesto por rocas intrusivas de, cuando menos, tres edades.

Los rasgos estructurales más importantes de esta porción de Sonora son fallas normales de rumbo NW-SE, las cuales conforman una estructura de pilares y fosas tectónicas muy característica. Los rumbos de otras estructuras menores, como fallas y diques pegmatíticos, son paralelos a las fallas principales.

### GEOLOGÍA LOCAL

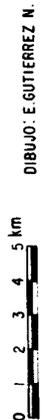
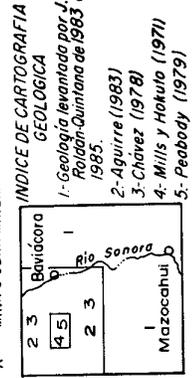
Las rocas más antiguas que afloran en la Hoja Baviácora se consideraron tentativamente paleozoicas y consisten en *skarn* (con variaciones a cornubianita), mármol, cuarcita y esquisto cuarzo-feldespático, mismas que se presentan como colgantes dentro del área de afloramiento del batolito granítico, principalmente en la región de El Jaralito. La unidad volcánica más antigua (Figura 2) consiste en derrames de andesita y riolita y en toba riolítica, fuertemente alterados por hidrotermalismo, que afloran al oriente de El Herrero. Cubre concordantemente (?) a la unidad anterior una secuencia de rocas volcánicas con arenisca tobácea y tobas y derrames riolíticos al oriente de Mazocahui. Al oriente de Baviácora, en forma discordante y sobre unidades más antiguas, hay capas rojas con horizontes de limolita y arenisca tobácea del Neógeno [Mioceno (?)]. Sobre esta unidad, discordantemente, se presenta la Formación Báucarit, en el valle del río Sonora, así como derrames de basalto, mientras que al noreste de Baviácora, rocas clásticas más jóvenes y aluvión.

Las rocas intrusivas son las que más abundan en la Hoja Baviácora; tienen una composición que va desde granítica hasta granodiorítica; son de dimensiones batolíticas y afloran principalmente en la mitad occidental de la hoja. Este batolito está cortando a las rocas paleozoicas (?) y volcánicas de la unidad más antigua. Un pórfido riolítico que aflora en la sierra de El Tiznado, en la esquina sudoriental de la hoja, corta al batolito granítico. Asimismo, están cortadas por diques de composición andesítica y pegmatítica (Tabla 1).

En el aspecto estructural, destaca un sistema de fallas normales de rumbo N60°W. También se observó, en áreas aisladas, rasgos estructurales producidos por deformación del tipo *core complex*, que consiste en alineación en el granito y fallas normales de ángulo bajo.

# EXPLICACION

- Qal ALUVION
  - Qol1 Qol2 Qol3 GRAVA FORMANDO TERRAZAS
  - T-Odt DEPOSITOS DE TALUD
  - Tc3 UNIDAD CLASTICA SUPERIOR; FORMA ABANICOS ALUVIALES AMPLIOS
  - DISCORDANCIA
  - Tv3 UNIDAD VOLCANICA SUPERIOR; RAMAS DE BASALTO Y DEPOSITOS VOLCANICLASTICOS
  - Tc2 UNIDAD CLASTICA INTERMEDIA; CONGLOMERADO ARCOSICO
  - DISCORDANCIA
  - Tba FORMACION BAUCARIT
  - DISCORDANCIA
  - Tc1 UNIDAD CLASTICA INFERIOR; CAPAS ROJAS, HORIZONTES DE CALIZA, LIMOLITA Y TOBA
  - Tv2 UNIDAD VOLCANICA INTERMEDIA; TOBA FELSICA Y ARENISCAS TOBACEA
  - DISCORDANCIA
  - Tv1 UNIDAD VOLCANICA INFERIOR; ANDESITA Y RIOLITA ALTERADAS HIDROTHERMALMENTE CON ARENISCAS
  - DISCORDANCIA
  - Pz SKARN, MARMOL, CUARCITA Y ESQUISTO CUARZOFELDSPATICO
  - ROCAS INTRUSIVAS
  - To INTRUSIVOS ANDESITICOS
  - Tipe Tigm PEGRAMTITAS DE COMPOSICION GRANITICA; EDADES: K-Ar, 30-40 Ma
  - Tigm GRANITO DE DOS MICAS; PREDOMINA LA MUSCOVITA
  - Tir PORFIDO RIOLITICO
  - Tig BATOLITO; CONSISTE EN GRANITO DE BIOTITA, GRANDIORITA, CUARZOMONZONITA Y CUARZODIORITA. EDADES: K-Ar, 51-69; U-Pb, 57 Ma
- SIMBOLOS**
- CONTACTO GEOLOGICO
  - FALLA NORMAL
  - FALLA O FISURA
  - DIQUES DE PEGMATITA O ANDESITA
  - RUMBO E INCLINACION
  - ALINEAMIENTOS FOTOGEOLOGICOS
  - MINA U OBRA MINERA



DIBUJO: E. GUTIERREZ N.

CUATERNARIO

TERCIARIO

PALEOZOICO

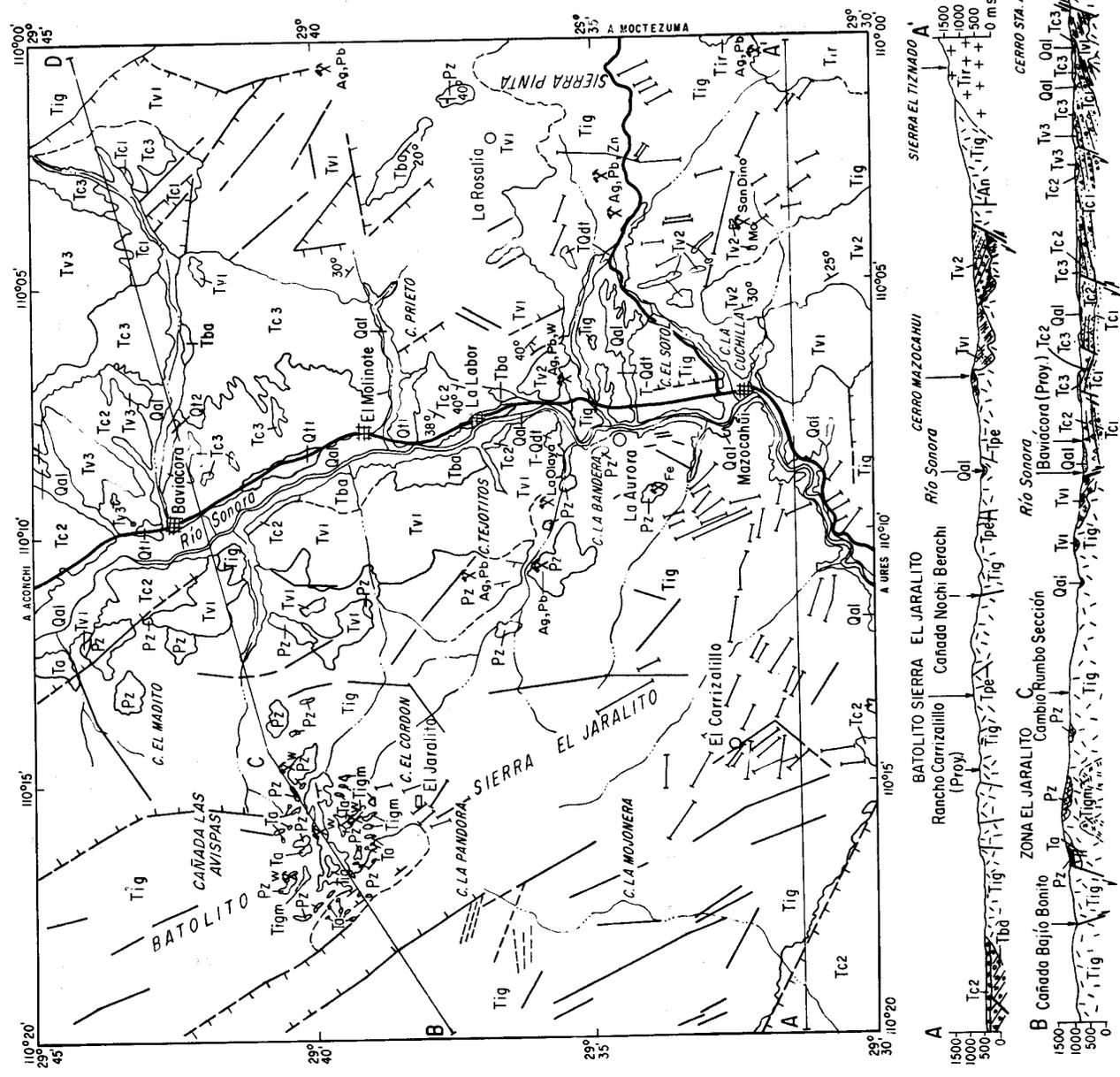


Figura 2.- Mapa geológico de la Hoja Baviacora, Sonora centrooriental.

Tabla 1.- Columna geológica de la Hoja Baviácora.

PERÍODO	ÉPOCA	LITOLOGÍA	EDAD (Ma)	DESCRIPCIÓN
CUATERNARIO	RECIENTE	Qa1, Qt1, Qt2		Qa1: Aluvión cuaternario Qt1 y Qt2: Grava formando terrazas
	PLEISTOCENO	Q-Tdt		Q-Tdt: Depósitos de talud
TERCIARIO	NEÓGENO	PLIOCENO (?)		Tc3: Unidad clástica superior; forma abanicos aluviales amplios
				Tv3: Unidad volcánica superior. Derrames de lava y brechas de composición basáltica
			Tc2	Tc2: Unidad clástica intermedia. Conglomerado granítico con matriz arcósica
			Tba	Tba: Formación Báucarit. Conglomerado y arenisca bien cementados
	MIOCENO (?)	Tc1	Tc1: Unidad clástica inferior. Capas rojas, limolita y toba	
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	Tv2	Tv2: Unidad volcánica intermedia. Derrames de lava y toba riolíticos, arenisca tobácea
		EOCENO PALEOCENO	Tv1	Tv1: Unidad volcánica inferior. Rocas prebatolíticas: andesita y tobas riolíticas alteradas hidrotermalmente
CRETÁCICO	TARDÍO	Ta, Tig, Tpe, Tigm, Tir	41.6 ± 1	Tpe y Tigm: Pegmatitas y granito de muscovita
			50.4 ± 1.6	Tir: Tronco de riolita porfídica
			51-69	Tig: Batolito granítico El Jaralito; incluye facies de granodiorita, cuarzomonzonita y cuarzdiorita
				Pz (?): Skarn, mármol, cuarcita y esquisto cuarzo-feldespático
ORDOVÍCICO CÁMBRICO (?)				

**Metasedimentos paleozoicos (?).** Estas rocas son las más antiguas expuestas en la Hoja Baviácora. Se designa de manera informal con el nombre de "metasedimentos paleozoicos (?)" a una serie de rocas sedimentarias silicificadas o recrystalizadas que aflora principalmente en el sector noroccidental de la Hoja Baviácora, en la zona de El Jaralito. Además, existen pequeños afloramientos aislados: uno al sureste del rancho La Rosalía, y otros en las cercanías del poblado de La Aurora (Figura 2). Litológicamente consisten en mármol, *skarn* (con variaciones a cornubianita), metaconglomerado y cuarcita de grano fino. En esta unidad se incluye también a un esquisto cuarzo-feldespático que aflora 3 km al NW de El Jaralito; su base no aflora y, en algunos de sus afloramientos, se encuentra cubierto por rocas de probable edad terciaria. Generalmente, el esquisto se encuentra cortado por el granito de biotita o, bien, por el de dos micas (en El Jaralito).

Peabody (1979) estudió detalladamente la región de El Jaralito y reportó una sección de rocas paleozoicas de aproximadamente 800 m. La sección, cuya base no está expuesta, se inicia con 100 m de un esquisto moteado que intertemperiza en color rojizo, café y azul. La sección continúa con 200 m de cuarcita de color gris claro; posteriormente, la sección sigue, en sentido ascendente, un horizonte de metaconglomerado de 0.5 m; hacia arriba, continúa una intercalación de mármol, cuarcita y *skarn* con un espesor total de aproximadamente 500 m. Para mayor detalle se remite al lector al trabajo de Peabody (1979).

Además de los afloramientos de El Jaralito, que corresponden a la descripción anterior, se estudiaron en el campo otros afloramientos en la zona de La Aurora y, al NW del mismo poblado, en el cerro La Milpita (Figura 2). En esta región, la litología predominante es cuarcita en capas delgadas de gra-

no fino y con matriz sericitica que alterna con escasas capas de conglomerado. En lámina delgada, estas rocas tienen entre 30 y 70% de cuarzo subredondeado, entre 20 y 60% de plagioclasa y hasta 10% de microclina, así como zircón; como minerales secundarios: sericita, clorita y epidota.

En el arroyo de La Olaya, al NW de La Aurora, también aflora *skarn* con bandas de caliza de color gris claro que alternan con capas de 5-8 cm de calcarenita con estratificación cruzada y pedernal en láminas muy delgadas. En este lugar, algunos afloramientos también incluyen cuarcita.

Otro afloramiento de rocas paleozoicas es el situado al SE del rancho La Rosalía, que consiste en calizas recristalizadas, con un color de intemperismo rojizo. Estas rocas se encuentran cubiertas discordantemente por rocas volcánicas de composición riolítica, probablemente de edad terciaria.

De acuerdo con la información obtenida de algunas láminas delgadas estudiadas al microscopio y con base en los estudios petrográficos detallados realizados por Peabody (1979) en el área de El Jaralito, se concluye que la secuencia sedimentaria paleozoica ha sufrido metamorfismo térmico de la facies de anfibolita.

El metamorfismo de las calizas masivas formó mármol de grano variable (de fino a grueso) con diópsido disseminado y flogopita. Dentro del mármol, están presentes bandas de silicatos de calcio que son ubicuas en la zona de El Jaralito; generalmente son de 8 cm de espesor y presentan como mineral más común a la grosularita, y cantidades menores de wollastonita, piroxeno e idocrasa. De acuerdo con Peabody (1979), el depósito de la mineralización económica de tungsteno (scheelita) se produjo después de la formación de los *skarns*, principalmente en las capas de mármol calcisilicatado.

La estructura de los metasedimentos paleozoicos es compleja por la serie de eventos geológicos que éstos han sufrido; es decir, probablemente antes de las intrusiones graníticas ya habían sido plegados durante uno o más períodos deformativos; posteriormente, tuvieron lugar las intrusiones y, por último, el fallamiento en bloques del Terciario [Mioceno medio (?)].

La edad precisa de estas rocas se desconoce. Peabody (1979) las considera del Paleozoico, en tanto que Mills y Hokuto-Castillo (1971) las asignaron al Pérmico. El problema radica en que hasta la fecha no se ha encontrado fósiles en estas rocas y probablemente los que existan deben estar muy mal preservados. El autor recolectó cinco muestras de las calizas menos recristalizadas en el área de El Jaralito, las cuales se procesaron en los laboratorios del U. S. Geological Survey, mediante una colaboración con el Dr. J. Stewart, para buscar conodontos; sin embargo, los resultados fueron negativos. Se considera que la edad paleozoica asignada por Peabody (1979) sea correcta y que más probablemente corresponda al Paleozoico temprano, esto con base en columnas paleozoicas descritas por Stewart y colaboradores (1984) en la sierra de Agua Verde, a 60 km al SW de El Jaralito.

*Unidad volcánica inferior.* Se designa con este nombre a las rocas volcánicas más antiguas que afloran en la Hoja Baviácora, y que consisten en derrames de lava y en tobas de composición de andesítica a riolítica; en algunos afloramientos se identificó arenisca tobácea y grauvaca. En lámina delgada, algunas de las rocas volcánicas corresponden a riocita y dacita. En el contacto oriental del batolito, se ha visto que rocas de

esta unidad constituyen la roca encajonante más común. Generalmente, estas rocas presentan una fuerte alteración hidrotermal, predominando la propilitización, aun cuando se observó también caolinización y argilización. La morfología de esta unidad está representada por un relieve alto y de formas redondeadas, sólo superado por el del batolito. Debido a la intensidad de la alteración, estas rocas presentan colores contrastantes, a los cuales hacen alusión los nombres con los que se conoce las zonas donde aflora esta unidad; tal es el caso de la Sierra Pinta y el Cerro Prieto, entre otros. Las rocas de esta unidad afloran exclusivamente en la porción oriental de la Hoja Baviácora (Figura 2), y se encuentran cortadas por rocas del batolito El Jaralito o, bien, cubiertas por rocas volcánicas de la "unidad volcánica intermedia" o por rocas más jóvenes.

Sus mejores afloramientos se localizan al oriente del poblado de La Labor (Figura 2) y por el camino al oriente del El Molinote. En esta zona, se observó dos zonas de alteración hidrotermal de dimensiones considerables: una a 7 km al nororiente de Mazocahui y la otra a 6.5 km al oriente de La Labor. En lámina delgada, la andesita muestra fenocristales de oligoclasa e hiperstena (?) en una matriz microlítica en ocasiones propilitizada o silicificada. Las riolitas presentan una textura porfídica, con sanidino y plagioclasa como fenocristales en una matriz con sericita. En el caso de la toba riolítica se observó que el vidrio se encuentra en proceso de desvitricación.

Dentro del área de afloramiento de esta unidad, y cerca de los contactos con rocas del batolito, se reconoció pequeños afloramientos de cuarcita paleozoica (?) que por sus dimensiones no fue posible separarlos durante la cartografía, por lo que quedaron incluidos dentro del área de afloramiento de esta unidad. Al oriente y norte del Cerro Prieto, se observó diques de composición riolítica cortando a las rocas de la "unidad volcánica inferior", posiblemente correspondientes a la "unidad volcánica intermedia". Se estimó un espesor de 800 m para esta unidad.

Respecto a la edad de estas rocas, por evidencias de campo se deduce que sean prebatolíticas. Actualmente, no se dispone de fechas radiométricas de ellas en el área de la Hoja Baviácora; sin embargo, en rocas similares, Livingston (1973) reportó edades de  $52.2 \pm 1.9$  y  $51.3 \pm 1$  Ma, en Nacozari y al sur de La Caridad, respectivamente. Algunos autores, como Echávarri-Pérez (1978) y Sillitoe (1976), consideraron a estas rocas comagmáticas con los intrusivos calcialcalinos de esta edad, con los cuales se asocian espacialmente y forman parte del arco laramídico que cruza el Estado de Sonora en dirección NW-SE, a través de Nogales-Cananea-Nacozari-Moctezuma, continuando hacia el sureste.

*Unidad volcánica intermedia.* Se usa este nombre para designar a una secuencia volcánica que aflora exclusivamente en la parte sudoriental de la Hoja Baviácora, más específicamente en el cerro La Calera y a 5 km al SE de Mazocahui. En el Arroyo del Alamito se halla esta unidad muy bien expuesta. Estas rocas yacen discordantemente sobre el batolito y sobre la unidad volcánica descrita previamente (Figura 2).

Litológicamente, esta secuencia comprende en su base un conglomerado compuesto de fragmentos bien redondeados de granito y riolita, encontrándose, discordantemente, en contacto con rocas del batolito. Estratigráficamente hacia arriba, continúa con un derrame de basalto, posteriormente con una arenisca con diastratificación, para concluir con una riolita

fluidal o, bien, ignimbritas en algunas áreas. La Figura 3 ilustra esta secuencia para un afloramiento en el cerro La Calera. Se ha estimado un espesor de 500 m en promedio para sus diferentes localidades de afloramiento. Su morfología contrasta notablemente con la de la "unidad volcánica inferior", pues esta secuencia volcanoclastica forma mesetas con pendientes fuertes las que generalmente presentan ignimbritas en la cima. Las rocas de esta unidad sólo exhiben ligeros basculamientos debidos al fallamiento terciario. Se ha agrupado a esta unidad diques y domos de composición riolítica por considerarlos asociados a ella genéticamente. A la fecha, no se cuenta con edades radiométricas para estas rocas; sin embargo, sí sabemos con seguridad que son posteriores al batolito. Tomando en cuenta la presencia de basaltos en esta sección, así como de conglomerados en la base, se considera a estas rocas relacionadas con las primeras manifestaciones de la tectónica extensiva en esta porción del estado, suponiéndoseles una edad del Mioceno temprano al Oligoceno.

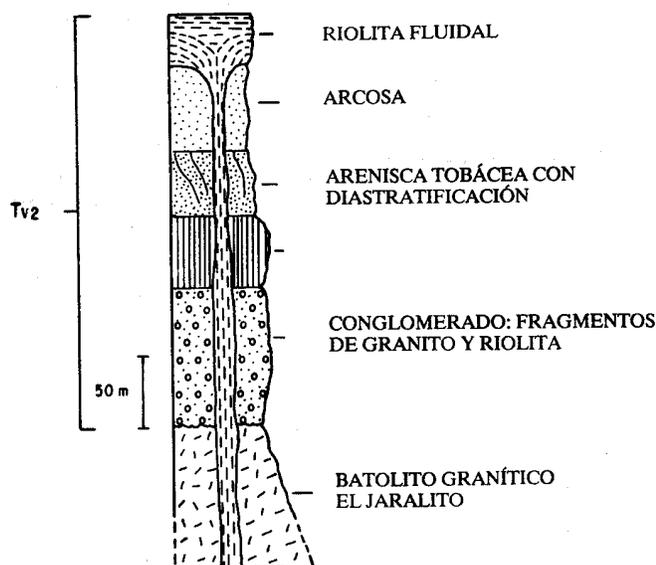


Figura 3.- Columna estratigráfica de la sección volcanoclastica de la "unidad volcánica intermedia" en la localidad del cerro La Calera, 4 km al NE de Mazocahui.

**Unidad clástica inferior.** Se designa con el nombre de "unidad clástica inferior" a las rocas clásticas más antiguas que afloran en el área de la hoja; su área de afloramiento se localiza 10 km al oriente de Baviácora (Figura 2). Morfológicamente, esta unidad consiste en un terreno plano disectado por arroyos poco profundos. Se puede observar buenos afloramientos por el camino que va de Baviácora al rancho La Compuerta, principalmente en los alrededores de la represa El Perol.

Litológicamente, esta unidad se compone de dos cuerpos. El inferior consiste en aproximadamente 1,000 m de capas rojas formadas por conglomerado y arenisca conglomerática de un color rojo intenso. Los fragmentos del conglomerado son de cuarcita y rocas volcánicas (pórfido riolítico y andesita); no se observó fragmentos de rocas intrusivas del batolito El Jaralito. El tamaño de los fragmentos del conglomerado varía desde menos de 1 hasta 15 cm y se tiene una matriz arenosa. Las estructuras de relleno de canales y diastratificación y los cantos, generalmente mal clasificados, sugieren un posible ori-

gen fluvial para esta parte de la sección. Hacia la cima, la sección termina con el cuerpo superior, formado por toba, arenisca tobácea y limolita de color café amarillento y violeta. Esta última porción de la sección tiene aproximadamente 100 m de espesor. De la parte superior de esta secuencia se ha obtenido palinomorfos a los cuales, de manera preliminar, se asigna una edad del Neógeno (Enrique Martínez-Hernández, comunicación escrita, 1986). La única deformación estructural observada fueron ladeos leves debidos a fallamiento normal; no se observó algún tipo de plegamiento.

Esta unidad cubre discordantemente a la "unidad volcánica inferior" o, bien, se encuentra en contacto por falla con ella. De la misma manera, se encuentra cubierta discordantemente por derrames basálticos de la "unidad volcánica intermedia" o, bien, por rocas clásticas más jóvenes.

**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 todo el valle del río Sonora, afloran rocas de la Formación Báucarit. En la Hoja Baviácora, sus afloramientos se localizan en el valle mencionado, al poniente de los poblados de El Molinote y La Labor, además de otro en los alrededores del rancho La Rosalía. Como en otras áreas, las rocas de la Formación Báucarit en el área de la hoja son muy resistentes a la erosión, por lo que forman acantilados altos o, bien, macizos rocosos en forma de pilares; esto último se puede observar al poniente de El Molinote. Litológicamente, consiste en un conglomerado de fragmentos desde redondeados hasta subangulares, de litología diversa que incluye rocas intrusivas y volcánicas y cuarcitas.

En las cercanías del poblado de La Labor, se observó un derrame de basalto interestratificado con rocas de la Formación Báucarit. Se encuentra cubriendo discordantemente a la "unidad volcánica inferior" y cubierta discordantemente por rocas clásticas más jóvenes. Al igual que las otras unidades clásticas terciarias, la Formación Báucarit únicamente muestra un ladeo ligero. No se realizó mediciones de su espesor, pero éste se estima en unos 300 m.

Durante el trabajo de campo no se encontró fósiles; sin embargo, Roldán (1979), en un estudio sobre el distrito minero de San Felipe, a 25 km al NW, reportó una edad radiométrica (K-Ar, método de roca total) de una andesita basáltica recolectada de la parte inferior de esta unidad, que pertenece al Mioceno temprano ( $21.7 \pm 0.4$  Ma). Por relaciones de campo, en la Hoja Baviácora se considera a la Formación Báucarit más joven que la "unidad clástica inferior". Es obvio que hace falta más investigación para afinar estos datos sobre la edad y estratigrafía del Terciario clástico continental en ésta y en otras partes del Estado de Sonora.

**Unidad clástica intermedia.** Se designa con este nombre a una secuencia de rocas clásticas que afloran principalmente al oriente del río Sonora, así como al poniente de la sierra de El Jaralito.

Litológicamente, consiste en un conglomerado de color blanco que contiene fragmentos, de angulares a subangulares, de granito, *skarn* y cuarzo abundante mal clasificados, en una matriz de arena arcósica. El tamaño de los fragmentos varía desde 1 hasta 60 cm y éstos se encuentran cementados pobremente. En algunos afloramientos, se notó imbricación de los

fragmentos. La morfología de esta unidad es de terreno plano. Se puede observar afloramientos notables de esta unidad en los alrededores del poblado de Baviácora y al oeste del mismo, así como al oriente de La Capilla. Cubre discordantemente a la Formación Báucarit y se encuentra cubierta por la "unidad clástica superior". Al norte de Baviácora, por el camino que va a la mina La Verde, se estima que esta unidad deba tener más de 300 m de espesor; aquí forma una terraza de altura mayor que las de las observadas cerca de Baviácora. Al poniente del poblado de Aconchi, esta unidad se encuentra a una altura mayor que en la zona descrita anteriormente; esto puede deberse al fallamiento y, en parte, al gran espesor de esta unidad. Parece representar los detritos derivados del batolito El Jaralito durante un período erosivo importante.

La estructura de esta unidad es simple, mostrando únicamente bloques inclinados ligeramente. Sobre la edad de esta unidad, únicamente se puede decir que es más joven que la Formación Báucarit.

*Unidad clástica superior.* Se designa así a las rocas clásticas más jóvenes que afloran en la hoja, principalmente al este y sureste de Baviácora. Forma lomeríos bajos y redondeados con drenaje dendrítico bien desarrollado. Consiste en un conglomerado de fragmentos generalmente bien redondeados; su color es de rojizo a café oscuro; el tamaño de los fragmentos varía desde uno hasta 40 cm y éstos se derivan de rocas de composiciones diversas: granito, *skarn* y basalto. Esta unidad cubre discordantemente a unidades más antiguas, siendo su contacto superior una superficie de erosión. Por relaciones de campo solamente se puede decir que es la unidad clástica más joven del área de estudio.

*Unidad volcánica superior.* Se designa con este nombre a las rocas de composición basáltica más jóvenes que afloran en la porción nororiental de la hoja, 10 km al NE de Baviácora. Su afloramiento principal corresponde a una porción de un aparato volcánico, que en su mayor parte está fuera de la hoja. Dentro de la Hoja Baviácora, estas rocas forman una de las prominencias más considerables. Este aparato volcánico pareciera estar asociado genéticamente con las fallas normales que bordean el valle del río Sonora hacia el oriente. Las rocas de esta unidad consisten en derrames de basalto de olivino vesiculares y brechas basálticas. Al noreste de Baviácora, también se observó depósitos volcanoclásticos de bloques de basalto, que son el constituyente principal de una gran terraza. En lámina delgada, exhibe una textura ofítica y, como minerales esenciales, presenta, en la matriz y como fenocristales, olivino alterado a idingsita y piroxeno; su matriz está constituida por microlitos de plagioclasa.

Esta unidad cubre discordantemente a rocas más antiguas, principalmente clásticas (unidades inferior e intermedia) y volcánicas (unidad inferior), y, fuera de la hoja, a rocas graníticas del batolito. Unos cientos de metros fuera de la hoja, en los arroyos Alto de los Yaquis y de El Rancho, cerca del camino que va de Baviácora a la mina La Verde, se observa que el basalto cubre a rocas de la "unidad clástica intermedia".

Debe mencionarse que, además de estos basaltos jóvenes, en el área se reconoció otros derrames basálticos asociados a rocas riolíticas que, por su posición estratigráfica, se considera más antiguos y han sido incluidos dentro de la "unidad volcánica intermedia".

No existe edad radiométrica para los basaltos jóvenes de esta unidad; sin embargo, por existir un aparato volcánico aún reconocible y porque cubren discordantemente a la "unidad clástica intermedia", se considera tengan una edad pleistocénica y pudieran correlacionarse con los basaltos de emisiones centrales más jóvenes del valle de Moctezuma, descritos por Cochemé (1985).

*Depósitos de talud.* Se designa con este nombre a los depósitos que afloran 5 km al norte y noreste de Mazocahui y que están constituidos por fragmentos angulosos de granito que varían en tamaño desde 0.5 hasta 2 cm, en matriz arenosa; también se observó fragmentos escasos de roca volcánica. Cubren discordantemente a rocas del batolito y tienen un espesor que varía desde 5 hasta 30 m. Estos sedimentos muestran una estratificación pobremente desarrollada. Morfológicamente, forman terrazas de elevación pequeña y se infiere tengan una edad terciaria tardía a cuaternaria.

*Aluvión cuaternario.* Además del aluvión propiamente dicho, se ha incluido en esta unidad dos depósitos de grava que forman terrazas a dos alturas diferentes en las cercanías del río Sonora o algunos de sus afluentes principales, como son los arroyos de Baviácora y de El Molinote.

El aluvión consiste en arena, grava y arcilla; sus áreas de afloramiento coinciden con las de inundación del río Sonora y sus arroyos afluentes, y constituyen regiones de cultivo de gran importancia económica para la región.

#### ROCAS INTRUSIVAS

Estas rocas ocupan una porción muy importante de la Hoja Baviácora. Con base en sus relaciones de contacto, litología y edad radiométrica (cuando se tiene), fueron separados los diferentes intrusivos, e identificados y cartografiados cuatro del Cretácico Tardío al Terciario. Estos consisten, desde el más antiguo hasta el más joven, en un batolito granítico de grandes dimensiones, un tronco de riolita porfídica, pequeños diques y cuerpos intrusivos de pegmatitas y granito de muscovita y, por último, un cuerpo intrusivo de composición andesítica, que incluye también un gran número de diques de la misma composición.

*Batolito granítico El Jaralito.* Con este nombre se designa a un grupo de rocas intrusivas cuya composición varía entre granito, granodiorita y cuarzomonzonita.

Esta unidad litológica representa el área mayor de afloramientos en la Hoja Baviácora, con dimensiones batolíticas, y forma parte de un complejo aún mayor, que se extiende al norte y sur, cubriendo un área de aproximadamente 2,500 km<sup>2</sup>. Todas estas rocas intrusivas pertenecen al "batolito larámico de Sonora" (90-40 Ma), que fue definido por Damon y colaboradores (1983). Dentro de la Hoja Baviácora, el afloramiento principal del batolito está representado por bloques levantados de grandes dimensiones y limitado por fallas normales de rumbo N30-60°W, como es el caso de la falla en las cercanías de Puerta del Sol, en el extremo sudoccidental del mapa geológico (Figura 2). En su flanco nororiental, la falla coincide de manera general con el cauce del río Sonora.

Además de los contactos por falla ya mencionados, el batolito corta rocas paleozoicas (?), formando extensas zonas de *skarn* en la región de El Jaralito, la cual es importante por

que tiene mineralización económica de tungsteno. El batolito también corta la "unidad volcánica inferior", cuyo contacto puede observarse al noreste de Mazocahui, suroeste de Baviácora y norte de la carretera que va a Moctezuma.

Las rocas batolíticas se encuentran, a su vez, cortadas por un pórfido riolítico en la sierra de El Tizado (esquina sudoriental de la hoja). Fuera del área de estudio, hacia el norte, en el distrito minero de San Felipe de Jesús, Roldán (1979) reportó un tronco de riolita porfídica litológicamente muy similar al pórfido mencionado, que fue fechado en  $50.4 \pm 1$  Ma. Las rocas de la sierra de El Tizado se consideran correlacionables con el tronco del distrito de San Felipe. Otros cuerpos intrusivos de dimensiones menores que cortan al batolito granítico son las pegmatitas y apilitas, mientras que los diques andesíticos son los intrusivos más jóvenes del área.

Morfológicamente, la unidad consiste en una topografía alta con cordilleras ligeramente orientadas al NW-SE; en algunas zonas, muestra pendientes fuertes, como en la parte donde el río Sonora corta al batolito en el tramo entre Mazocahui y Puerta del Sol.

Petrográficamente, el batolito consiste, principalmente, en un granito porfídico de biotita con cristales de cuarzo y de feldespato de 1 a 3 cm que gradúa a granodiorita y cuarzomonzonita. La Figura 4 muestra un diagrama de Streckeisen con la composición modal de 17 muestras del batolito El Jaralito que fueron estudiadas al microscopio. El granito es más abundante en las porciones occidental y sudoccidental; generalmente, se presenta porfídico; en el campo, presenta alineación, y en lámina delgada, se observa deformado. Las localidades donde se observó lo anterior son: Puerta del Sol (un poco fuera de la hoja) y Rancho Carrizalillo, sobre la carretera entre Puerta del Sol y Mazocahui; también se observó granito deformado en El Jaralito.

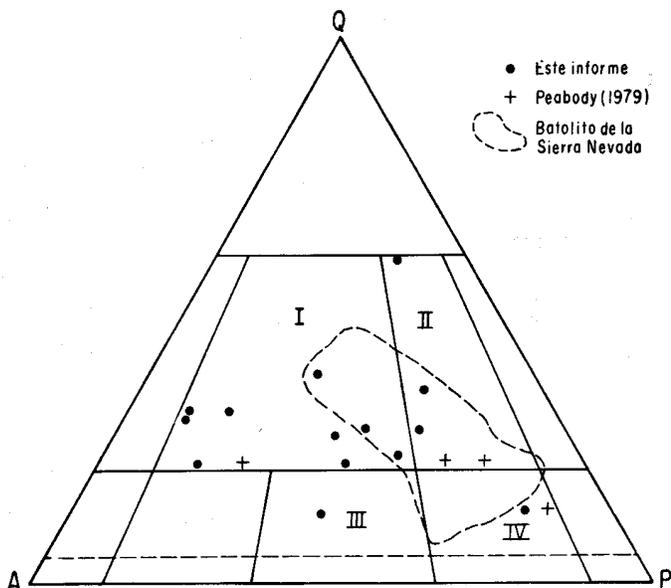


Figura 4.- Diagrama de Streckeisen que muestra las composiciones modales de 17 muestras de rocas intrusivas del batolito El Jaralito estudiadas al microscopio.

La granodiorita es más común en la parte oriental de la hoja, en la región de Mazocahui-El Mariscal, cerca de los con-

tactos con la "unidad volcánica inferior". Estos contactos son transicionales y, en general, la granodiorita presenta textura más fina y color más oscuro que las rocas graníticas. Además de los tipos litológicos mencionados, al microscopio se identificó también cuarzomonzonita y cuarzodiorita. La primera es ubicua, encontrándose prácticamente en toda el área de afloramiento del batolito El Jaralito; se le observó en la carretera entre Puerta del Sol y Mazocahui, al suroeste de La Aurora, en el rancho San Bernardino y en el Puerto del Viboreo, en la porción sudoriental de la hoja. Por otro lado, la cuarzodiorita parece estar restringida a zonas con deformación extensiva más intensa en el área de El Jaralito y las cercanías de Puerta del Sol.

El batolito El Jaralito, en la Hoja Baviácora, es un cuerpo intrusivo compuesto que presenta una morfología bien definida, caracterizada por relieve alto, de más de 1,000 m. s. n. m., con cordilleras ligeramente orientadas NW-SE, aun cuando hay áreas pequeñas donde el relieve es menor. En ciertas zonas, las rocas graníticas presentan una exfoliación de tipo cebolla bien desarrollada, como sucede aproximadamente 4 km al oriente de Puerta del Sol. En algunas zonas, el batolito muestra pendientes fuertes, como en la carretera Mazocahui-Puerta del Sol, donde el río Sonora ha labrado su curso cortando el batolito en dirección sudoccidental.

El batolito El Jaralito, por su naturaleza, presenta múltiples texturas que varían desde pegmatítica porfídica hasta granular de grano fino; sin embargo, es probable que la textura más común en el granito y la granodiorita sea la porfídica. En lámina delgada, se observó una textura hipidiomórfica holocristalina, equigranular o porfídica. Las texturas micrográficas es común; también se observó una textura granofídica, donde la plagioclasa muestra bordes de reacción con el cuarzo. En rocas deformadas, se observó el inicio de formación de milonita en el cuarzo y una alineación incipiente de los minerales opacos; los cristales de plagioclasa y de feldespato potásico se presentan doblados o brechados en sus bordes. El cuarzo, casi en todos los casos, muestra extinción ondulante y se observa brechado.

En general, la mineralogía de estas rocas es simple. Como minerales esenciales, están presentes cuarzo, microclina, ortoclasa, albita y oligoclasa, en diferentes porcentajes para formar granito, granodiorita, cuarzomonzonita y cuarzodiorita. Los minerales accesorios más comunes son biotita y hornblenda, seguidos por esfena, zircón, apatita y muscovita. Como minerales opacos, se identificó hematita, magnetita y pirita. Los minerales secundarios más comunes son clorita, sericita, calcita y epidota. Con base en las láminas delgadas estudiadas en el microscopio y en los datos de campo, se concluye que el granito y la granodiorita son los tipos litológicos más abundantes, seguidos por la cuarzomonzonita y, por último, la cuarzodiorita (Figura 4). Asimismo, en cuanto a la deformación, se define que el granito es la roca que se encuentra deformada con mayor frecuencia, seguido por la granodiorita y, por último, la cuarzodiorita.

Para determinar el carácter químico de estas rocas, se llevó a cabo análisis de roca total, cuyos datos se utilizó para calcular la norma. En la Figura 5 se puede observar que las rocas del batolito El Jaralito fundamentalmente corresponden a la serie calcialcalina, salvo ligeras variantes en algunas de las muestras.

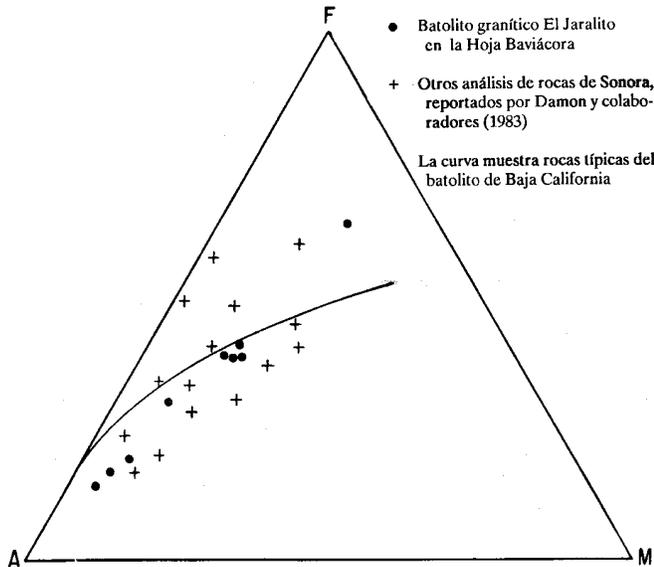


Figura 5.- Diagrama AFM que muestra los datos químicos de rocas del batolito El Jaralito. Se incluye, también, otros análisis de rocas intrusivas laramídicas reportadas por Damon y colaboradores (1983).

Se resume las edades radiométricas obtenidas de rocas intrusivas del batolito El Jaralito en la Tabla 2. Con base en dicha información, se puede concluir que la edad del batolito en el área cubierta por la Hoja Baviácora varía desde 51.8 hasta 69.2 Ma; es decir, del Maastrichtiano al Eoceno medio.

**Tronco de pórfido riolítico.** Con este nombre se designa a un tronco de pórfido riolítico que aflora parcialmente en la sierra de El Tiznado, en la esquina sudoriental de la hoja, y que continúa hacia el sur y sureste. Dentro del área de estudio, se encuentra cortando al batolito El Jaralito y, como ya se indicó, representa las partes más altas de la Hoja Baviácora.

Petrográficamente, esta roca corresponde a un pórfido

riolítico con fenocristales de cuarzo generalmente redondeados; también, se observa feldespato y biotita en una matriz, a diferencia de las rocas batolíticas. En la mayoría de los casos, la riolita porfídica muestra alteración argílica. En San Felipe, Roldán (1979) describió un intrusivo litológicamente similar a éste, a 60 km al norponiente de la sierra de El Tiznado. El tronco de San Felipe fue fechado, por el método K-Ar, en  $50.4 \pm 1.66$  Ma; dentro de la Hoja Baviácora, no se ha obtenido edades radiométricas pero, por relaciones de campo, se sabe que es más joven que el batolito granítico principal, por lo que pudiera ser equivalente en edad al tronco de San Felipe. Este tipo de intrusiones hipabisales ha mostrado ser un importante control en geología económica, por su asociación con depósitos de minerales metálicos.

**Granito de dos micas.** Esta roca tiene afloramientos muy limitados, restringiéndose a pequeños cuerpos en la zona de El Jaralito. Fuera del área, hacia el noreste, aflora un batolito con la misma composición.

Sus contactos con el batolito granítico son intrusivos y se considera que genéticamente estén asociados a las pegmatitas, por lo que en el mapa geológico fueron agrupados.

En muestra de mano, generalmente es de grano fino, con muscovita, cuarzo, feldespato potásico y, localmente, biotita.

Dentro del área de la Hoja Baviácora, no se ha obtenido edades radiométricas; sin embargo, en el distrito de San Felipe, aproximadamente 35 km al norte de El Jaralito, se obtuvo una edad de  $35.96 \pm 0.70$  Ma (K-Ar) para un granito de dos micas (P. E. Damon in Roldán-Quintana, 1979).

**Pegmatitas de composición granítica.** Se designa con este nombre a un grupo de diques y cuerpos pequeños de composición granítica que contiene pegmatitas y apilitas.

Dentro de la Hoja Baviácora, afloran principalmente en la sierra de El Jaralito. Estos cuerpos pegmatíticos cortan al granito de biotita del batolito principal. Además de estar en la

Tabla 2.- Edades radiométricas de rocas intrusivas graníticas del batolito El Jaralito en la Hoja Baviácora y sus inmediaciones.

Localidad	Método	Mineral fechado	Edad	Referencia	Unidad fechada
5 km al E de Puerta del Sol	U-Pb	Zircón	$57 \pm 3$ Ma	Anderson y colaboradores (1980)	Tig*
El Jaralito, Mina San Antonio	K-Ar	Hornblenda	51.8 Ma	Mead (1982)	Tig
A 6.8 km al SW de Baviácora, sobre el camino a El Jaralito	K-Ar	Hornblenda	57 Ma	Mead (1982)	Tig
600 m al SW de la Aurora, Mpio. de Baviácora	K-Ar	Biotita	$69.6 \pm 2$ Ma	Gastil (comunicación escrita, 1986)	Tig
6 km al SW de Mazocahui, sobre la carretera a Ures	K-Ar	Muscovita	$41.6 \pm 1$ Ma	Damon y colaboradores (1983)	Tpe
Mina Sta. Rosa, Mpio. de San Felipe de Jesús. Fuera del mapa de la Figura 2	K-Ar	Biotita	$50.4 \pm 1$ Ma	Damon y colaboradores (1983)	Tir

\* Son los mismos símbolos utilizados en el mapa geológico (Figura 2).

región de El Jaralito, se observó pegmatitas en el Puerto del Viboreo, en las cercanías de Mazocahui y en el Rancho Carri-zalillo, sin descartar la existencia de otros cuerpos pegmatí-ticos dentro de esta región.

El rumbo predominante de las pegmatitas es N15-30°W; su mineralogía consiste en cuarzo, microclina, albita, muscovita, almandino y biotita escasa. Damon y colaboradores (1983) fecharon (K-Ar) en  $41.6 \pm 1$  Ma una de las pegmatitas de la parte meridional de la hoja. Se considera a las pegmatitas estrechamente relacionadas con el granito de muscovita que generalmente es más joven que el granito de biotita que constituye el batolito principal.

**Intrusivos andesíticos.** Estos cuerpos de roca constituyen el evento intrusivo más joven observado en la Hoja Baviácora. Por su coloración más oscura, son fácilmente distinguibles de otras rocas.

Litológicamente, consisten en andesita propiamente dicha o diorita de grano muy fino. En algunos casos, cortan claramente a los diques pegmatíticos, aun cuando en otras localidades presentan rumbos paralelos.

No se tiene edades radiométricas para estas rocas, pero por sus relaciones de campo se sabe que constituyen el evento intrusivo más joven dentro del área de la Hoja Baviácora.

#### GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En la Figura 2, se muestra que los afloramientos de las capas paleozoicas (?) corresponden a colgantes en el batolito o en zonas de contacto entre el batolito y rocas más jóvenes. Peabody (1979) estudió detalladamente un área pequeña en las cercanías de la mina San Antonio, en la zona de El Jaralito, donde las rocas paleozoicas (?) se presentan plegadas. Los ejes de los pliegues tienen un rumbo ENE, habiendo sido estos últimos replegados por un segundo sistema de rumbo general N-S. Estos pliegues probablemente fueron producidos por deformación de tipo compresivo anterior al Terciario. Lo anterior no pudo mostrarse en las Figuras 2 y 6 por problemas de escala. A la escala en que se trabajó, la estructura principal consiste en grandes bloques de rumbo N20-60°W o, bien, otros rumbos irregulares.

La "unidad clástica inferior" tiene un rumbo N50-60°W, mientras que las demás tienen rumbos irregulares o son masivas. En general, todas las unidades terciarias volcánicas y clásticas sólo muestran inclinaciones leves por fallas normales, lo cual puede apreciarse claramente al oriente de Baviácora (Figuras 2 y 6).

En los esquistos agrupados con las rocas paleozoicas (?) se observó una foliación incipiente de actitud N60°E-30°NW. Asimismo, se reconoció una alineación bien definida en rocas del batolito, en la zona de El Jaralito, de dirección N35-50°E, que en las cercanías de Puerta del Sol, unos cientos de metros fuera de la hoja, en la esquina sudoccidental, cambia a N30°E (Anderson *et al.*, 1980). De acuerdo con dichos autores, estas características sugieren esfuerzo, aun cuando la foliación está pobremente desarrollada en el afloramiento; el cuarzo está más deformado y los granos alargados definen una foliación de ángulo bajo. En la Hoja Baviácora, dentro del batolito, las áreas deformadas están distribuidas irregularmente. Anderson y colaboradores (*op. cit.*) consideran que "...áreas fuertemente deformadas (alargadas), caracterizadas por una alineación

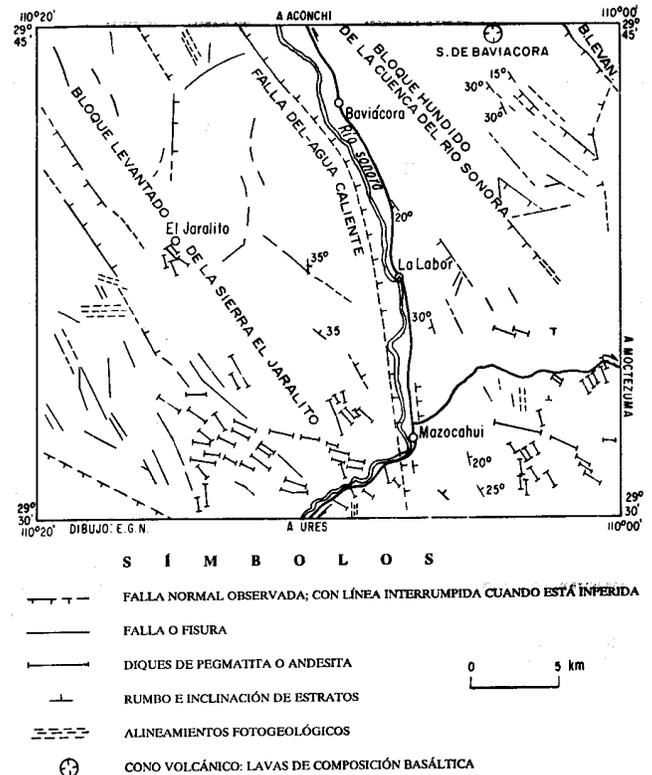


Figura 6.- Mapa estructural de la Hoja Baviácora. La base topográfica es la misma que la del mapa geológico.

pronunciada que generalmente tiene un rumbo NE (a nivel regional), pasan comúnmente a zonas de deformación quebradiza, donde las capas están fragmentadas por un sistema de fallas de ángulo fuerte a bajo". En lo que se refiere a fallas y fracturas, a escala regional, la sierra de El Jaralito y su continuación hacia el NW constituyen un bloque levantado limitado hacia ambos lados por fallas normales de rumbo NW-SE (Figura 6). El bloque hundido corresponde al valle del río Sonora, del cual sólo está expuesta una porción en la Hoja Baviácora. Las fallas normales y fracturas más importantes tienen un rumbo N60°W, con bloques hundidos al NE o SW. Con base en la estratigrafía definida hasta ahora y en las edades radiométricas de las rocas intrusivas disponibles, se puede inferir la edad de la deformación más antigua observada en rocas del batolito, y que corresponde a una alineación de rumbo general N30°E. Debido a que esta deformación no afecta a las pegmatitas, fechadas en  $41.6 \pm 1$  Ma, y a que, por otro lado, sabemos que la edad del batolito en la parte meridional de la hoja es de 57 Ma (Tabla 2), la deformación que produjo la alineación debió suceder entre 41.6 y 57 Ma, es decir, durante el Eoceno temprano a medio.

Un segundo período deformante está indicado por el emplazamiento de los diques andesíticos que, en muchos lugares, cortan a las pegmatitas. Sobre la edad de esta deformación, sólo se puede decir que debe ser posteocénica. Por último, con base en la edad de la "unidad clástica inferior", puede inferirse una edad de principios del Mioceno para el inicio del fallamiento NW-SE que dio origen a la estructura principal de sierras y cuencas. De acuerdo con las consideraciones anteriores, se puede afirmar que los rasgos estructurales observados en las rocas

de esta hoja, en gran medida fueron producidos por esfuerzos de extensión durante el Terciario. Se considera que algunas de estas fallas debieron tener actividad recientemente, como es el caso de la falla de Agua Caliente, a 20 km al NW de Baviácora.

### GEOLOGÍA ECONÓMICA

Dentro del área de la Hoja Baviácora, en el pasado hubo una explotación minera importante en la zona tungstenífera de El Jaralito. Actualmente, sólo persiste una extracción a nivel de minería en pequeño, siendo, en su mayoría, efectuada por gambusinos.

Durante el trabajo de campo, se visitó algunas de las minas u obras mineras; sin embargo, no se realizó un trabajo exhaustivo. En el mapa geológico (Figura 2), se muestra la localización de algunas de estas minas o prospectos y en la Tabla 3 se proporciona los datos más importantes sobre su localización, estructura y roca encajonante, así como mineralogía y otras características.

Con base en los datos recolectados en el campo y en los estudios realizados por Aguirre (1983), Cabrera (1983) y Mills y Hokuto-Castillo (1971), se concluye que dentro de la Hoja Baviácora existen los siguientes tipos de yacimiento (Tabla 3):

1. *Vetas*. Estas estructuras están encajonadas, principalmente, en rocas del batolito. Su importancia económica radica en que contienen oro y plata.

2. *Depósitos de contacto*. Estos yacimientos son los de mayor importancia; están asociados a colgantes en el batolito e incluyen mineralización de tungsteno y de hierro.

3. *Depósitos disseminados*. Sólo existe una manifestación de este tipo: de molibdeno, asociado a rocas del batolito.

4. *Pegmatitas*. Estas estructuras se manifiestan encajonadas en rocas del batolito, aunque genéticamente se asocian a granitos de muscovita.

De los datos anteriores se desprende que gran parte de la mineralización se encuentra genéticamente asociada con el batolito, o que éste es la roca encajonante. Obviamente, las vetas deben ser más jóvenes que el batolito El Jaralito, asociadas a actividad ígnea más joven.

### CONCLUSIONES

En la Hoja Baviácora, las rocas más abundantes son las ígneas. Con base en su edad y composición química, éstas pueden ser divididas en dos grandes grupos:

1. Rocas cuya edad varía desde el Cretácico Tardío hasta el Eoceno, de composición calciocalina. Sillitoe (1976), Echávarri (1978) y Damon y colaboradores (1983) relacionaron estas rocas con procesos de subducción (arco laramídico). Este grupo comprende los granitos del batolito El Jaralito y, posiblemente, una parte de las rocas de la "unidad volcánica inferior".

2. El segundo grupo comprende a las unidades volcáni-

cas intermedia y superior. Estas rocas se encuentran en contacto discordante sobre el batolito El Jaralito y están relacionadas con un régimen extensivo dentro de un ambiente continental. Infortunadamente, no se cuenta a la fecha con análisis químicos de estas rocas. Dentro de este segundo grupo, tentativamente, se considera a los granitos de dos micas, los cuales, aunque no son muy abundantes en el área estudiada, sí tienen un significado petrogenético importante. El origen de estos intrusivos se ha relacionado con la fusión de corteza (Miller y Bradfish, 1980), y se considera una edad oligocénica para ellos.

La edad de los sedimentos terciarios más antiguos de la hoja es del Neógeno [Mioceno (?)]. Las acumulaciones gruesas de capas rojas están probablemente relacionadas con el inicio del fallamiento de sierras y cuencas en esta porción de Sonora, el cual debió ocurrir a principios del Mioceno o durante el Oligoceno. La presencia de otras unidades clásticas más jóvenes atestiguan la continuidad de esta etapa tectónica hasta épocas recientes.

En el aspecto estructural, se reconoció, aunque de manera aislada, deformación del tipo *core complex*, cuya edad es posterior a la del batolito El Jaralito. Con base en las edades radiométricas disponibles, esta deformación podría situarse entre el Eoceno medio y el Oligoceno temprano.

En cuanto a la geología económica, se concluye que los depósitos de W, Fe y Mo y las pegmatitas están genéticamente asociados al batolito, existiendo además vetas de Au y Ag, cuya edad es posterior a la del batolito El Jaralito.

### AGRADECIMIENTOS

Este estudio es el resultado parcial del Proyecto 04 de la Estación Regional del Noroeste, del Instituto de Geología de la UNAM, y se desarrolló de manera esporádica durante los años de 1983 a 1986.

Se agradece a todo el personal de apoyo de la estación su ayuda durante el desarrollo del mismo. Al Dr. Paul E. Damon, del Laboratorio de Geocronometría de la Universidad de Arizona, se agradece sus múltiples visitas al campo con el autor, durante las cuales fueron aclarados muchos conceptos de carácter regional. Se agradece también al Dr. Enrique Martínez-Hernández, del Departamento de Paleontología, su interés en fechar las rocas clásticas terciarias. El Dr. R. Gordon Gastil, de la Universidad de California en San Diego, gentilmente realizó dos determinaciones de edad y algunos análisis químicos de rocas del batolito El Jaralito. Los análisis químicos de roca total utilizados en los diagramas, en su mayor parte, fueron hechos en los laboratorios del Instituto de Geología en la Ciudad de México por los Químicos Irma Aguilera y Angel Rodríguez, a quienes se agradece su cooperación. El cálculo de la norma se realizó mediante un programa de computadora preparado por el Dr. Francisco J. Fabregat y adaptado para terminales remotas por Enrique Dávila-Vega, lo cual facilitó el análisis de los datos químicos. El Ing. Ricardo Amaya-Martínez, del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, auxilió al autor durante el estudio petrográfico de algunas de las muestras. Se agradece al M. en C. César Jacques-Ayala, el haber leído críticamente el primer borrador del manuscrito. Por último, se agradece al M. en C. Jerjes Pantoja-Alor y al Dr. Richard Merriam, el haber efectuado la revisión crítica del manuscrito.

Tabla 3.- Algunos datos geológicos sobre minas o prospectos de la Hoja Baviácora.

MINA O PROSPECTO	LOCALIZACIÓN	ESTRUCTURA Y ROCA ENCAJONANTE	MINERALOGÍA	OTRAS CARACTERÍSTICAS
<b>I. VETAS</b>				
1.- La Mendoza	6 km al N5°E de Mazocahui	N50°W; 5 cm S10°E-70°SW; 1.7 m Granodiorita	Cuarzo, piritita, galena, wulfenita, limonita	Tiene valores de oro y plata
2.- Mina de Agua	8 km al N30°E de Mazocahui	N75°W; 50°SW-40-60 cm Granodiorita	Cuarzo, galena, calcopirita y piritita	Tiene valores de oro y plata
3.- Eleticia	7.3 km al N55°E de Mazocahui	Vetillas irregulares de rumbo N20-30°E; 5-15 cm Cuarzodiorita	Cuarzo, calcopirita y galena	Valores de plata
4.- San Antonio	16 km al S70°E de Baviácora	N80°W-55°SW; 0.20-2 m Andesita y toba riolítica	Cuarzo, piritita y mineral pulverulento de manganeso	Obras importantes; dos niveles, uno de ellos mayor que 200 m. Se explotó por plata
5.- San Francisco	5 km al W de La Labor	N55°E-20°NW; 1.5 m Metasedimentos	Cuarzo, piritita, galena y malaquita	Valores de plata y zinc
6.- Nueva Aurora	8.5 km al N40°W de Mazocahui	N60°E-80°SE; 2 m Metasedimentos	Cuarzo, piritita y limonita	
7.- La Norteña I	11 km al S85°E de Mazocahui	S55°E-70°SW; 0.80 a 1.20 m Pórfido riolítico	Cuarzo, calcita, piritita, galena, manganeso	Valores de plata. Existe una silicificación importante
8.- La Palma	8.5 km al N58°E de Mazocahui	N37°W-46°SW; 80 cm Cuarzodiorita	Cuarzo, piritita y galena	Otras vetas de rumbo NE, valores de oro y plata
9.- La Tacita	6.5 km al W de Baviácora	N83°E-Vert.; espesor desconocido Granito de biotita	Cuarzo y piritita	Valores de oro y plata
10.- El Realito	4 km al S40°W de Baviácora	Sólo se muestreó el terreno. Arma en granito pegmatítico	Cuarzo, piritita y galena	Valores de plata
<b>II. DEPÓSITOS DE CONTACTO</b>				
1.- Región de El Jaralito	12 km al S65°W de Baviácora	Zonas irregulares de reemplazamiento, encajonadas en cornubianita y granito de biotita	Scheelita, wolframita, piritita, calcopirita y molibdenita. Como ganga: granate, piroxeno, epidota y wollastonita	Comprende las minas de San Antonio, Sta. Elena, Los Moros, Pénjamo y otras
2.- Cerro Blanco	4 km al N45°W de Mazocahui	Colgante. Cornubianita y mármol	Magnetita, hematita y goethita. Granate, epidota, clorita, piritita y esfena	Alto Fe total y bajo P y S (Cabrera, 1983)
<b>III. DEPÓSITOS DISEMINADOS</b>				
1.- San Dino	5.3 km al S87°E de Mazocahui	Vetillas irregulares de rumbo S10-60°E; 3 cm Granodiorita	Cuarzo, piritita y molibdenita. Se observó mineralización diseminada	La silicificación en la granodiorita es importante
<b>IV. PEGMATITAS</b>				
1.- El Jaralito	12 km al S65°W de Baviácora	Diques, N15-30°W; 0.4-10 x 60 m de longitud Granito porfídico de biotita	Zonificación incipiente. Cuarzo, ortoclasa, microclina, muscovita, albita y almandino	Dentro de un radio de 2 km de la antigua planta de beneficio
2.- Rancho Carrizalillo	11.5 km al S85°W de Mazocahui	Diques de rumbo N30°W; 0.5-3 m x 50 m de longitud Granito porfídico de biotita	Sin zonificación. Cuarzo, ortoclasa, microclina, albita, muscovita y almandino	Otra zona con pegmatitas se localiza 3.5 km al N70°W de Mazocahui

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, Jesús, 1983, Estudio geológico minero de la región del río Sonora: Hermosillo, Dirección de Minería, Geología y Energéticos del Gobierno del Estado de Sonora, Reporte interno, 12 p. (inédito).
- Anderson, T. H., y Silver L. T., 1979, The role of the Mojave-Sonora megashear in the tectonic evolution of northern Sonora: *in* Anderson, T. H., y Roldán-Quintana, Jaime, eds., *Geology of northern Sonora*. Geol. Soc. America, Guide-book Field Trip 27, p. 59-68.
- Cabrera, F. J. C., 1983, Los recursos minerales de fierro en Sonora: Hermosillo, Univ. Sonora, tesis profesional, 56 p. (inédita).
- CETENAL, 1975, Carta Topográfica Esc. 1:50,000, Hoja Baviácora, H12-D23: México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Comisión de Estudios del Territorio Nacional (ahora Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).
- Cochemé, J. J., 1985, Le magmatisme Cénozoïque dans le NW du Mexique cartographié de la région de Yécora-Maicoba-Mulatos; illustration magmatique de la fin d'un régime en subduction et du passage à un régime distensif: Marsella, Univ. de Droit, d'Economie et des Sciences d'Aix-Marseille III, disertación doctoral (3er ciclo), 209 p. (inédita).
- Chávez-Aguirre, J. M., 1978, Géologie et métallogenie de la Sierra d'Aconchi (Sonora, Mexique): París 6, Univ. Pierre et Marie Curie, disertación doctoral (doctor-ingeniero), 202 p. (inédita).
- Damon, P. E., Shafiqullah, Muhammad, Roldán-Quintana, Jaime, y Cochemé, J. J., 1983, El batolito Laramide (90-40 Ma) de Sonora: Guadalajara, Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Conv. Nal., 15, Memoria técnica, p. 63-95.
- DGG, 1982, Carta Geológica Esc. 1:1'000,000, Hoja Tijuana: Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección General de Geografía (ahora Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática).
- Echavarrri-Pérez, Ariel, 1978, Metallogenetic map of Sonora, Mexico: Arizona Geological Society Digest, v. 11, p. 145-154.
- INEGI, 1982, Carta Geológica Esc. 1:250,000, Hoja Hermosillo, H12-8: México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
- 1984, Anuario estadístico de Sonora, Tomo I: México, D. F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 744 p.
- King, R. E., 1939, Geological reconnaissance of northern Sierra Madre Occidental, Mexico: Geol. Soc. America Bull., v. 50, p. 1623-1722.
- León, F. L., y Miller, C. P., 1981, Geology of the Creston molybdenum-copper deposit: *in* Ortlieb, Luc, y Roldán-Quintana, Jaime, eds., *Geology of northwestern Mexico and southern Arizona*. Hermosillo, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Estación Regional del Noroeste, p. 223-238.
- Livingston, E. D., 1973, Geology, K-Ar ages and Sr isotopy at La Caridad, Nacozari district, Sonora: Tucson, Univ. Arizona, Geosci. Dept., Circ. 80, 32 p.
- Mead, D. R., 1982, Summary of K-Ar isotopic ages determined at Ohio State University: Reporte inédito, 12 p.
- Miller, F. C., y Bradfish, J. L., 1980, An inner Cordilleran belt of muscovite-bearing plutons: *Geology*, v. 8, p. 412-416.
- Mills, A. R., y Hokuto-Castillo, Alfonso, 1971, Geología y potencial del mineral de tungsteno del área de Baviácora, Sonora: Hermosillo, Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Conv. Nal., 9, Memoria técnica, p. 491-503.
- Peabody, E. E., 1979, Geology and petrology of a tungsten skarn, El Jaralito, Baviácora, Sonora, Mexico: Stanford, Univ. Stanford, tesis de maestría, 90 p. (inédita).
- Raisz, Erwin, 1964, Landforms of Mexico: Cambridge, Mass., U. S. Office of Naval Research, Geography Branch, mapa con texto, escala aprox. 1:3'000,000, 2a ed.
- Roldán-Quintana, Jaime, 1979, Geología y yacimientos minerales del distrito San Felipe, Sonora, México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 3, p. 97-115.
- Sillitoe, R. H., 1976, A reconnaissance of the Mexican copper belt: Institute of Mining and Metallurgy, Trans., v. 85, p. 169-190.
- Stewart, J. H., McMennamin, M., y Morales-Ramírez, J. M., 1984, Upper Proterozoic and Cambrian rocks in the Caborca region, Sonora, Mexico; physical stratigraphy, biostratigraphy, paleocurrent studies and regional relations: U. S. Geological Survey, Prof. Paper 1309, 36 p.

Manuscrito presentado: 19 de febrero de 1987.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 6 de octubre de 1987.

Manuscrito aceptado: 3 de marzo de 1988.