

GEOLOGÍA DEL SUR DE LA SIERRA DE OPOSURA, MOCTEZUMA, ESTADO DE SONORA, MÉXICO

Jaime Roldán-Quintana*

RESUMEN

La sierra de Oposura (o La Madera) se localiza a 200 km al NE de Hermosillo dentro de la subprovincia de Sierras y Valles Paralelos de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Occidental. Esta sierra y el valle de Moctezuma están limitados por fallas normales (NW-SE) y constituyen los rasgos morfológicos más sobresalientes a nivel local.

Las rocas prebatolíticas consisten en una secuencia de capas de caliza y lutita del Cretácico Inferior. Cubre a la secuencia anterior, en discordancia angular, una serie de derrames de lava, toba andesítica, ignimbrita y conglomerado del Cretácico Superior. Estas dos secuencias cretácicas sufren la intrusión de rocas del Batolito Oposura, pudiéndose observar estos contactos intrusivos hacia el sur y oriente del área estudiada. Hacia el oeste, el contacto de las rocas batolíticas es por falla con rocas clásticas del Terciario.

El Batolito Oposura cubre una superficie de 250 km²; consiste litológicamente en granito porfídico, cuarzomonzonita y granodiorita; en él han sido obtenidas dos edades K-Ar, usando biotita, de 59 y 62 Ma. Se considera como parte de las rocas del batolito algunos xenolitos gabroicos, así como diques de pegmatita y andesita. La clasificación modal de 23 muestras de roca del Batolito Oposura, indica que el mayor número corresponde a granito *sensu stricto*, habiendo además cuarzomonzonita, cuarzosienita y granito alcalino. Los análisis químicos de 11 muestras del Batolito Oposura indican una tendencia calcialcalina, semejante a la del batolito El Jaralito, localizado a 80 km al SW.

Los diques pegmatíticos tienen un rumbo principal de N30-40°W; por relaciones de campo son más jóvenes que los granitos; su mineralogía consiste en cuarzo, microclina, albita, biotita, muscovita, epidota, almandino, turmalina, pirita y escaso berilo. Existen registros de la presencia de scheelita en algunas de estas pegmatitas.

Las rocas postbatolíticas consisten en lava y brecha andesítica, intercaladas con conglomerado rojo. Las rocas más jóvenes del área son conglomerado, arenisca y depósitos de talud, las cuales en el valle de Moctezuma están cubiertas por derrames de basalto alcalino del Cuaternario.

Palabras clave: geología regional, Batolito Oposura, granito, Sonora, México.

ABSTRACT

The Sierra of Oposura (or La Madera) is located at about 200 km to the NE of the city of Hermosillo. The study area lies within the subprovince of Parallel Valleys and Ranges of the physiographic province of the Sierra Madre Occidental. The Sierra of Oposura and the adjacent Valley of Moctezuma are limited by NW-SE trending normal faults and locally are the most important morphologic features.

The pre-batholithic rocks consist of a sequence of limestone and shale of Early Cretaceous age. These rocks are overlain in angular unconformity by an Upper Cretaceous sequence of mainly andesitic flows and tuffs, which also includes ignimbrite and conglomerate in the upper part. These two sequences are intruded by the Oposura Batholith. Intrusive contacts may be observed to the south and east of the study area. To the west, the batholithic rocks are in fault contact with Tertiary clastic rocks.

The Oposura Batholith covers an area of 250 km² and consists of porphyritic granite, quartz monzonite and granodiorite; two K-Ar ages in biotite yield 59 and 62 Ma. Some xenolith of gabbro and pegmatite and andesite dikes are considered part of the batholith. In a modal classification of 23 samples of the Oposura Batholith, most of them correspond to granite *sensu stricto*; other compositions include quartz monzonite, quartz syenite and alkalic granite. Eleven chemical analyses indicate a calc-alkalic trend, similar to that of El Jaralito batholith located 80 km to the SW.

The pegmatite dikes strike N30-40°W and intrude all the facies of the batholith. Their mineralogy consists of quartz, microcline, albite, biotite, muscovite, epidote, almandine, tourmaline, pyrite and scarce beryl. There are some reports about the existence of scheelite in some of these pegmatites.

The post-batholithic rocks consist of andesitic flows and breccias intercalated with red conglomerate. The youngest rocks exposed in the area are conglomerate, sandstone and talus deposits. In the Valley of Moctezuma, these rocks are covered by flows of Quaternary alkalic basalt.

Key words: regional geology, Oposura Batholith, granite, Sonora, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Como parte de un proyecto a largo plazo para estudiar las rocas batolíticas del Cretácico Superior-Terciario inferior,

se estimó conveniente continuar con estos trabajos hacia la sierra de Oposura (La Madera), debido a la gran extensión de sus afloramientos. El estudio de las rocas intrusivas se considera de gran importancia dada la escasez de este tipo de trabajos.

El área de estudio se localiza en el noreste del Estado de Sonora, aproximadamente a 200 km al NE de la ciudad de

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

Hermosillo, y a 10 km al NE del poblado de Moctezuma, en el municipio del mismo nombre (Figura 1). Se tiene acceso al área partiendo de Hermosillo hacia el NE por la carretera estatal núm. 21; o bien, saliendo de Agua Prieta hacia el sur pasando por Nacoziari y Cumpas, hasta llegar a Moctezuma (Figura 1). Hasta la fecha, solamente han sido localizados tres estudios que tratan específicamente sobre una parte del área estudiada. El primero fue publicado por Santillán (1936), quien con base en las condiciones geológicas y mineralógicas de las pegmatitas de la sierra de Oposura, consideró que se podría explotar algunos yacimientos de berilo. El otro trabajo fue hecho por Garza-González (1960), quien estudió en la misma área los yacimientos de berilo. Este autor ofrece un bosquejo general de la geología del área, presentando una descripción muy completa de las pegmatitas con berilo. Garza-González (*op. cit.*) consideró que las estimaciones de Santillán (*op. cit.*) sobre el volumen de mineral de berilo explotable eran exageradas. Por su parte, Paz-Moreno (1985, 1987) describió la composición y origen de los derrames de basalto que afloran en el valle de Moctezuma.

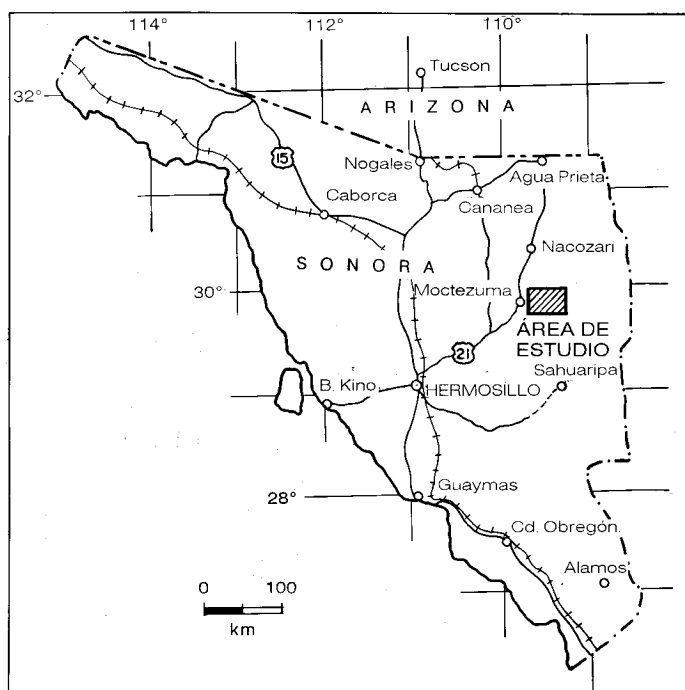


Figura 1.- Mapa de localización del área de Oposura, Sonora nororiental.

En las cercanías del área estudiada, han sido llevados a cabo diversos estudios geológicos, principalmente con objetivos de interés económico. En el distrito minero de Nacoziari, a 10 km al norte de la sierra de Oposura, Berchenbriter (1976) estudió la falla de El Coloradito, expuesta en la parte nororiental del yacimiento de La Caridad. Por su parte, Bolich (1969), McAnulty (1970), Ramírez-Rubalcaba y colaboradores (1973), y Theodore (1976) describieron la geología, la alteración y las áreas mineralizadas (Cu-Mo) del distrito de Nacoziari. La mineralización de Cu-Mo en Nacoziari es generalmente

de tipo diseminado y está relacionada con intrusivos hipabisales de edades K-Ar de 50-54 Ma (Damon *et al.*, 1983).

Otros trabajos publicados se refieren al descubrimiento de algunas nuevas especies de minerales de telurio en la mina La Bambolla, aproximadamente a 4 km al sur de Moctezuma (Gaines, 1965a, 1965b, 1969). Otro distrito minero de oro y sulfuros estratiformes de plata, plomo y zinc, se localiza en la sierra de La Huerta, a 22 km al suroeste de Moctezuma (Deen y Atkinson, 1988; Marrs, 1979). Aunque una de las minas se llama Oposura, no tiene relación con la sierra de Oposura, ni con el batolito del mismo nombre. Por su parte, Damon y colaboradores (1983) publicaron dos edades K-Ar de rocas del Batolito Oposura, así como algunas otras de áreas vecinas. Por último, González-León (1988) describió en detalle las rocas sedimentarias de la región de Lampazos, aproximadamente a 50 km al sur de la sierra de Oposura.

En el presente estudio se describe la geología de la parte meridional de la sierra de Oposura, para lo cual fueron empleados 40 días para realizar el trabajo de campo, poniendo énfasis en las rocas intrusivas.

CUADRO GEOLÓGICO REGIONAL

Fisiográficamente, la subprovincia de Sierras y Valles Paralelos (Raisz, 1964) se caracteriza por montañas alineadas de N-S a NW-SE, separadas entre sí por valles con la misma orientación (Figura 2). El límite de los valles y las sierras generalmente corresponde a fallas normales de dimensiones regionales, algunas de las cuales tienen más de 200 km de longitud (hoja La Madera [DETENAL, 1982] y hoja Nacoziari [DETENAL, 1983]).

La sierra de Oposura presenta alturas hasta de 2,400 m s.n.m.m., mientras que en el valle de Moctezuma, inmediatamente adyacente hacia el oeste, sus elevaciones fluctúan entre 600 y 900 m. Éstos son los rasgos morfológicos más sobresalientes localmente.

En el contexto geológico (Figura 2), el noreste de Sonora se caracteriza por la abundancia de rocas ígneas. Las rocas volcánicas afloran en mayor proporción y forman parte de la Sierra Madre Occidental.

Los afloramientos de rocas sedimentarias son escasos; consisten en rocas marinas calcáreas y clásticas del Cretácico Inferior, que afloran en la región de Lampazos y han sido descritos por González-León (1988). Estas rocas son las más antiguas de la región. En las cercanías de la sierra de Oposura, se ha identificado rocas posiblemente correlativas con las de Lampazos. Asimismo, hacia el oriente y sur del área estudiada, se ha identificado rocas volcanoclásticas cretácicas tardías-terciarias tempranas, edad inferida con base en la edad de los intrusivos datados.

Por lo que respecta a las rocas intrusivas, sus afloramientos son escasos y van disminuyendo hacia el oriente, siendo los mayores los que constituyen las sierras de Oposura y La Púrica, hacia el norte (Figura 2).

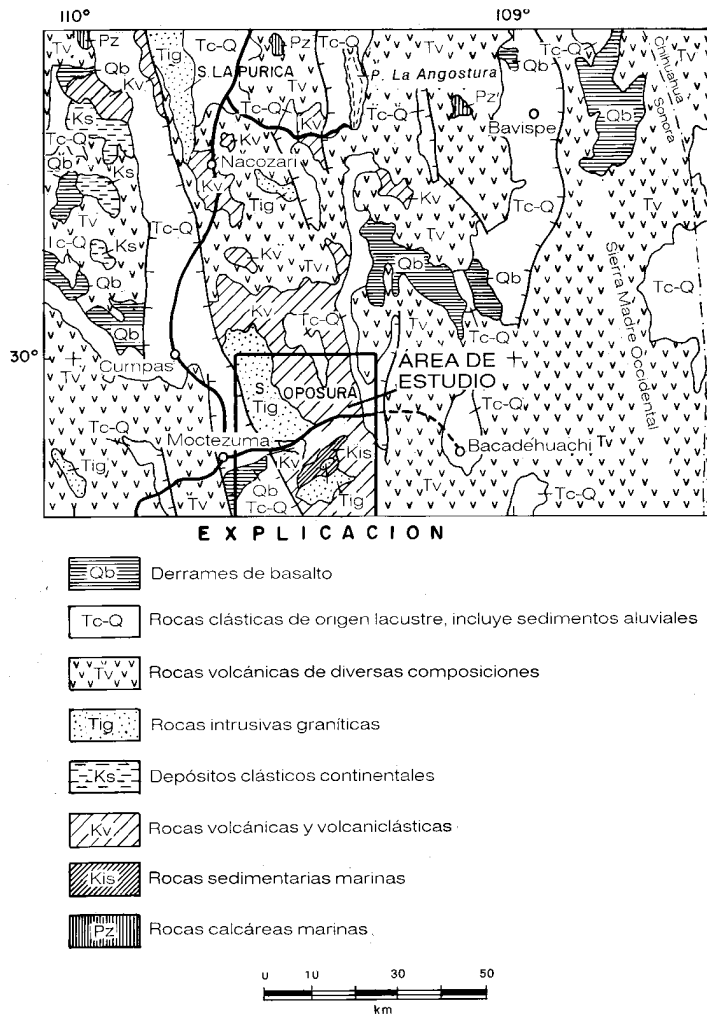


Figura 2.- Mapa geológico regional del noreste de Sonora. En él se muestra la geología general del área estudiada. Modificado a partir de DETENAL (1983).

En esta porción de Sonora, los batolitos están poco erosionados, por lo que es posible ver una gran parte de sus contactos intrusivos. Es interesante observar que en las cartas geológicas La Madera (DETNAL, 1982) y Nacoziari (DETNAL, 1983) aparecen rocas volcánicas cretácicas que parecen estar geográficamente asociadas a las rocas batolíticas. Los valles están rellenos por rocas cenozoicas de los tipos aluvial y lacustre. En el río Moctezuma, estos depósitos contienen, en su porción más superior, restos de vertebrados de edad pleistocénica tardía (Roldán-Quintana, 1979), cubiertos por derrames de basalto cuaternarios (Paz-Moreno, 1985).

GEOLOGÍA DE LA PARTE MERIDIONAL DE LA SIERRA DE OPOSURA

Con el fin de simplificar la descripción de la geología, en el presente estudio únicamente son agrupadas las rocas de la siguiente forma: prebatolíticas, batolíticas y postbatolíticas (Láminas 1 y 2). De esta manera, se podrá entender mejor la relación entre las rocas batolíticas y las encajonantes, cumpliendo así con uno de los objetivos de esta investigación.

Las rocas prebatolíticas consisten en dos unidades de roca, a las que tentativamente se ha asignado una edad cretácica. La primera unidad comprende rocas sedimentarias marinas, mientras que la segunda está formada por rocas volcánicas y volcanosedimentarias, que son las rocas encajonantes del Batolito Oposura.

Las rocas batolíticas consisten en granito porfídico y granodiorita, incluyendo pegmatitas, xenolitos de rocas básicas y diques andesíticos. Todas forman el batolito de la sierra de Oposura. Existen, además, dos troncos: uno de cuarzodiorita y el otro de composición andesítica.

Las rocas postbatolíticas consisten en derrames y aglomerados de andesita basáltica(?), conglomerados y basaltos. Todas estas unidades están cubiertas por depósitos aluviales cuaternarios. En la parte sudoccidental del área, afloran algunos derrames de basalto que han sido datados como cuaternarios. En el mapa geológico (Lámina 1), se muestra la distribución geográfica de todas las unidades, así como su posición estratigráfica.

ROCAS PREBATOLÍTICAS

Rocas sedimentarias marinas (Kis)

Se designa informalmente con el nombre de "rocas sedimentarias marinas" a una secuencia que consiste, en su parte inferior extrema, en caliza de grano fino, en capas de más de 50 cm de espesor, de color gris claro, interestratificada con lutita negra. Esta unidad continúa hacia la cima con una secuencia de arenisca de color pardo claro, intercalada con limolita verdosa, así como con calcarenita con restos de braquiópodos y fragmentos de ostreas(?) y orbitolinas mal preservadas. No fue posible identificar en forma precisa los fósiles, debido a que la caliza está muy recristalizada.

Esta unidad aflora exclusivamente en la parte meridional del área (Lámina 1), en una franja orientada NE-SW, misma que va desde el rancho Agua María hasta el rancho El Sauz. Todo este afloramiento de rocas sedimentarias se interpreta como un gran techo colgante sobre lo que sería la continuación hacia el sur del Batolito Oposura.

Las rocas de esta unidad comúnmente están recristalizadas por efectos del metamorfismo de contacto. Los minerales de metamorfismo observados son wolastonita, diópsido, granate (grosular[?]), caliza recristalizada y abundante epidota. Esta mineralogía corresponde a la facies corneana de piroxeno de la clase química calcárea.

La unidad de rocas sedimentarias marinas se presenta cubierta discordantemente por las rocas volcánicas más jóvenes. Esta discordancia es claramente visible al NE del cerro El Guaco. Sin embargo, en algunos casos este contacto es por falla, como al W y NW del rancho Agua María (Lámina 1).

La expresión morfológica de esta unidad es en forma de lomeríos o zonas casi planas poco elevadas, presentando colores claros o amarillentos.

Se estima que el espesor de la unidad de rocas sedimentarias marinas sea del orden de 1,500 m. Esta secuencia se asigna al Cretácico Inferior, con base en sus relaciones con las rocas intrusivas, y en su similitud litológica con rocas fosilíferas que afloran en la región de Lampazos, a 55 km al sureste de esta zona (González-León, 1988).

Rocas volcánicas y volcanoclásticas (Ksv)

Bajo la denominación de rocas volcánicas y volcanoclásticas se agrupa a una secuencia compuesta por derrames de lava y toba de composición andesítica, así como por capas de arenisca de origen volcánico, que en algunas zonas muestra alteración hidrotermal. Las rocas andesíticas y las areniscas están hacia la base de la secuencia, presentando escasos horizontes de ignimbrita. Hacia la cima, la ignimbrita y la toba lítica de composición riolítica aumentan, encontrándose intercaladas con conglomerado de origen volcánico de color rojo. Los fragmentos del conglomerado son subredondeados, de 2 a 30 cm de diámetro y consisten en ignimbrita, riolita y andesita, en una matriz arenosa con abundante feldespato y biotita.

Las rocas de esta unidad volcánica afloran al sur y oriente de la sierra de Oposura, así como al NE del rancho El Sauz.

Su contacto inferior no está bien expuesto en el campo. Sin embargo, con base en la cartografía, se infiere que este contacto corresponda a una discordancia angular sobre la unidad de rocas sedimentarias marinas. Su contacto superior también es discordante, estando cubierta por derrames y aglomerados de andesita basáltica, así como conglomerados polimícticos, posiblemente correspondientes a la Formación Báucarit.

La expresión morfológica de esta unidad corresponde a terrenos elevados, generalmente alargados, con amplias zonas de alteración hidrotermal de color blanco o amarillento, así como zonas rojizas de oxidación, como la que puede observarse inmediatamente al oriente del rancho Tonibabi, a unos 15 km al oriente de Moctezuma. La morfología de las ignimbritas y tobas líticas que corresponden a la porción superior de esta unidad se presenta como serranías alargadas formadas por estratos ladeados con diversos rumbos, lo que fue interpretado como plegamiento. Estas rocas afloran en el puerto El Alamillo, sobre la carretera Moctezuma-Granados, o bien en las cercanías del rancho Los Taraises. Para esta unidad se estima un espesor de 1,000 m.

Genéticamente, estas rocas corresponden a un vulcanismo andesítico que consistió en derrames y tobas, en el que posiblemente hubo un período de erosión que permitió el depósito de las arenitas volcánicas. Posteriormente, el vulcanismo cambió a uno de tipo explosivo de composición riolítica, del cual fueron originados productos distales en forma de tobas líticas e ignimbritas.

A esta unidad de rocas volcánicas se asigna una edad del Cretácico Tardío, con base en que las rocas están plegadas y sufren la intrusión de granitos del Batolito Oposura, del Paleo-

ceno superior. Sin embargo, existe la posibilidad de que sean de edad paleocénica temprana.

Estas rocas posiblemente correspondan a la secuencia calcialcalina de edad laramídica, descrita por Roldán-Quintana y Solano-Rico (1978), que aflora extensamente en la porción oriental del estado, particularmente en la región de Nacozari. También es probable que sean correlacionables con las secuencias de andesita, latita y toba andesítica que afloran al SE de Nacozari en el área de la mina Pilares y que han sido descritas por Chiapa-Chavarría y Thoms (1971).

ROCAS BATOLÍTICAS

Batolito Oposura

El término "batolito de Oposura" fue propuesto originalmente por Garza-González (1960), quien lo definió como "un intrusivo complejo de rocas de naturaleza principalmente granítica y cuarzdiorítica". En el presente estudio se propone formalmente el nombre de Batolito Oposura para designar a un cuerpo de rocas intrusivas de composición granítica de dimensiones batolíticas expuesto en la sierra de Oposura.

Algunos de sus mejores afloramientos están localizados en los alrededores del rancho El Güerigo, por lo que se designa a esta zona como localidad tipo. Este intrusivo cubre una superficie aproximada de 250 km², de los cuales afloran unos 200 km² en el área estudiada (Lámina 1), mientras que el resto se encuentra fuera del área, hacia el norte.

La forma de afloramiento es tabular con una orientación general NW-SE. Los afloramientos de rocas intrusivas continúan hacia el sur en la sierra de Los Ceniceros, en el extremo sudoriental del mapa geológico de la Lámina 1; sin embargo, no son continuos. Las rocas intrusivas de la sierra de Oposura forman parte del batolito Laramide de Sonora, definido por Damon y colaboradores (1983), siendo esta localidad una de sus exposiciones más orientales en Sonora.

El Batolito Oposura corta rocas cretácicas, constituidas por los sedimentos marinos y las rocas volcánicas y volcanoclásticas descritas anteriormente. En la porción meridional de la sierra de Oposura, en el cerro El Mojino, Garza-González (1960) consignó la presencia de calizas granatizadas y recristalizadas que corresponden a un techo colgante sobre el batolito, y las consideró como probablemente paleozoicas o cretácicas.

Hacia el oeste, el Batolito Oposura está en contacto por falla con rocas clásticas terciarias. Hacia el norte, fuera del área estudiada, las rocas volcánicas compuestas por riolitas y tobas ácidas sufren la intrusión del batolito (DETENAL, 1983). Hacia el oriente, dentro del área estudiada, las rocas graníticas del batolito penetran en las andesitas, las tobas andesíticas y las arenitas volcánicas; se trata de una intrusión forzada, que presenta un brechamiento intenso en el intrusivo y caolinización abundante en las andesitas. Este contacto se observó al oeste del rancho El Horror y por el camino que va del rancho

EXPLICACIÓN

ROCAS POSTBATOLÍTICAS

Derrames de basalto—0.5 Ma (K-Ar)

Depósitos de talud—Conglomerado

Rocas clásticas no diferenciadas—Arenisca arcósica, conglomerado y sedimentos lacustres

Formación Báucarit—Derrames y aglomerados de basalto, conglomerado polimíctico hacia la cima

ROCAS BATOLÍTICAS

Tronco andesítico

Tronco de cuarzodiorita

Batolito granítico de Oposura—Granito porfídico, cuarzomonzonita y granodiorita, 59.6±1.3 y 62.7±1.4 Ma. Incluye diques de pegmatita, andesita y cuarzo

Xenolitos de gabronorita

ROCAS PREBATOLÍTICAS

Rocas volcánicas y volcánoclasticas—En la base, derrames de lava y toba andesíticas

Rocas sedimentarias marinas—Caliza, lutita, arenisca y limolita

Contacto—Con línea interrumpida donde está inferido

Falla normal—Las barras están en el bloque hundido

Fractura

Dique—Peg, pegmatita; And, andesita; Oz, cuarzo

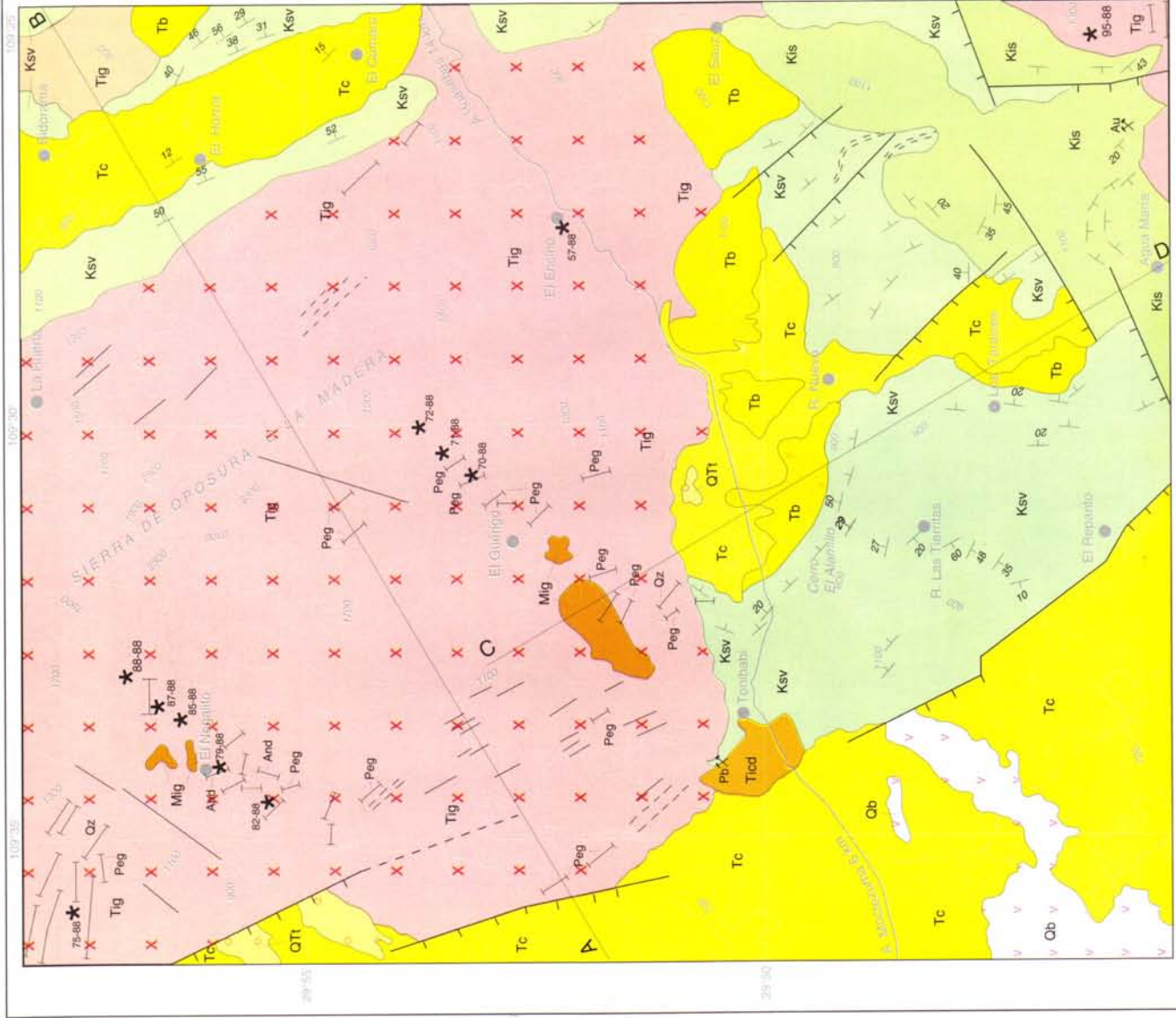
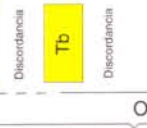
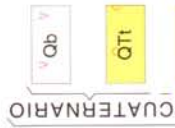
Rumbo e inclinación de capas—medidos en el campo

Rumbo e inclinación de capas—fotogeológicos

Lineamiento fotogeológico

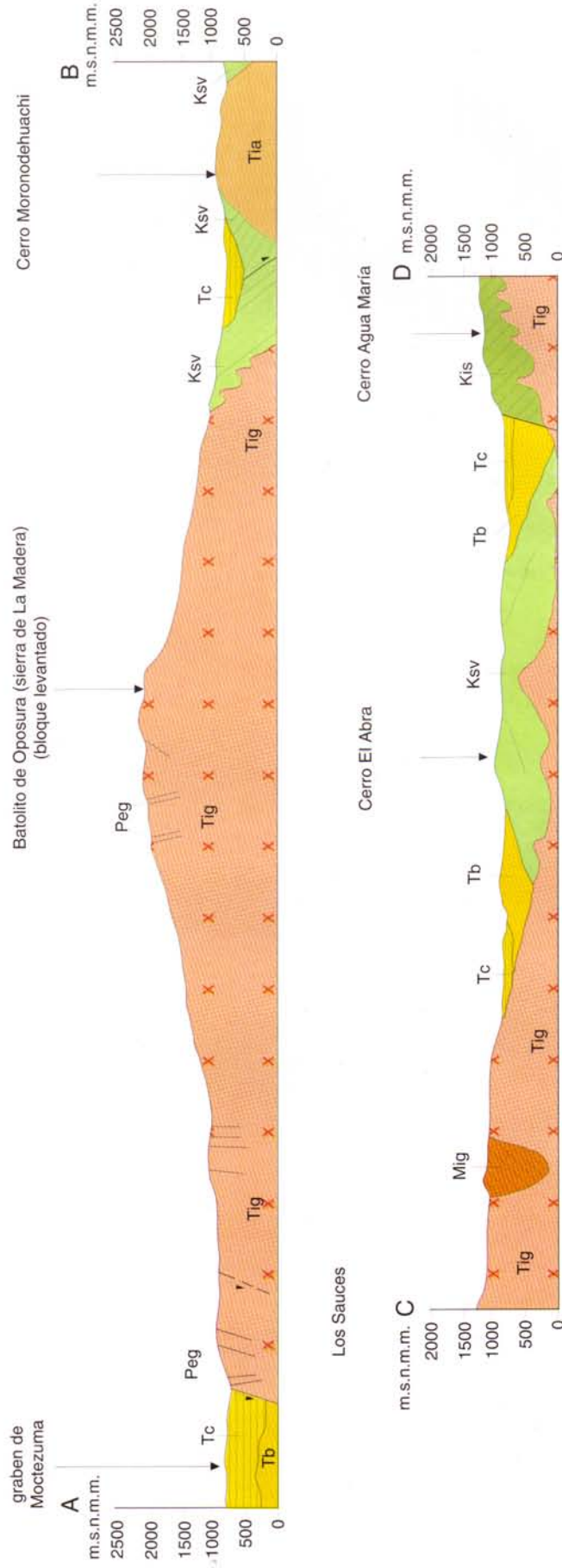
Mina

Localidad de muestra petrográfica



Proceso completo de color mediante computadora por Juan Manuel López y José de Jesús Vega-Carrillo

MAPA GEOLÓGICO DEL SUR DE LA SIERRA DE OPOSURA, MOCTEZUMA, SONORA



Proceso completo de selección de color mediante computadora por Juan Manuel López y José de Jesús Vega-Carrillo

La Bidorama al rancho La Huerta. Al sur del rancho El Cúmaro, su contacto no está bien expuesto, pero se considera intrusivo.

En su parte meridional, el Batolito Oposura afecta por intrusión a rocas plegadas de la unidad cretácica tardía volcánica, que consisten en ignimbritas y conglomerados rojos, así como en andesitas sumamente alteradas.

En general, en las zonas de contacto del intrusivo estudiadas en el campo, se observó que las rocas volcánicas o volcanoclásticas están sumamente alteradas hidrotermalmente. Las zonas alteradas tienen una anchura de aproximadamente 80 m. Se identificó caolinización, propilitización y, sobre todo, una silicificación intensa. En algunas de las localidades estudiadas, se observó mineralización diseminada de sulfuros (pirita y calcopirita), así como hematita. La turmalina es el mineral más común en las zonas de contacto intrusivo del batolito.

En la sección al NW del rancho El Cúmaro, en la zona de contacto entre las rocas intrusivas y la secuencia volcánica, se estudió una zona de silicificación. En este mismo sitio, a unas decenas de metros del contacto con el intrusivo que, en este caso, es un granito fanerítico de grano grueso, está expuesta una brecha de intrusión. Consiste en fragmentos angulosos de arenitas volcánicas y andesitas en una matriz silicificada, con abundante epidota y turmalina. No fueron observados otros minerales en la aureola del contacto.

Dentro del área estudiada (Lámina 1), la litología más común en el Batolito Oposura es granito porfídico y, en menor proporción, algunas rocas con menor contenido de cuarzo, como cuarzomonzonita y cuarzosienita.

Las rocas graníticas del batolito son generalmente porfídicas, con fenocristales de feldespato potásico hasta de 1 cm. Las facies cuarzomonzoníticas son de grano más pequeño (0.5 cm), y presentan bandeamiento en algunas áreas. Esta estructura se considera de origen primario, pues en lámina delgada no se observó deformación de los constituyentes minerales. Los contactos entre las diferentes facies del batolito son transicionales; durante el trabajo de campo, no se intentó cartografiarlos en detalle.

Dentro del área de afloramiento del batolito, fueron identificadas dos áreas con xenolitos de gabronorita; una a 2.5 km al sudoeste del rancho El Güérigo, y la otra al norte del rancho El Nogalito. En esta última localidad, los xenolitos son más pequeños (Lámina 1).

Con el fin de simplificar la descripción de las rocas intrusivas, se agrupó dentro de las rocas batolíticas a los diques pegmatíticos, que afloran principalmente en la porción occidental del batolito. Asimismo, se incluye un tronco de cuarzdiorita localizado en el borde sudoccidental del batolito y un tronco de composición andesítica que aflora en la región del rancho Bidorama, en el extremo nororiental del área (Lámina 1). Con base en sus relaciones de campo, se considera que estos troncos estén genéticamente asociados al batolito, siendo sólo un poco más jóvenes.

El granito porfídico aflora al norte y noreste del rancho El Güérigo, así como al norte del rancho El Encino y en toda la porción oriental del batolito. Al sur y suroeste del rancho El Güérigo, la litología del batolito es menos félsica, consistiendo en cuarzomonzonita y granodiorita. En esta región, se observó una gran abundancia de diques pegmatíticos.

En el laboratorio fueron estudiadas 23 muestras de rocas del Batolito Oposura, contándose 800 puntos por lámina; en la Figura 3 se muestra su composición modal.

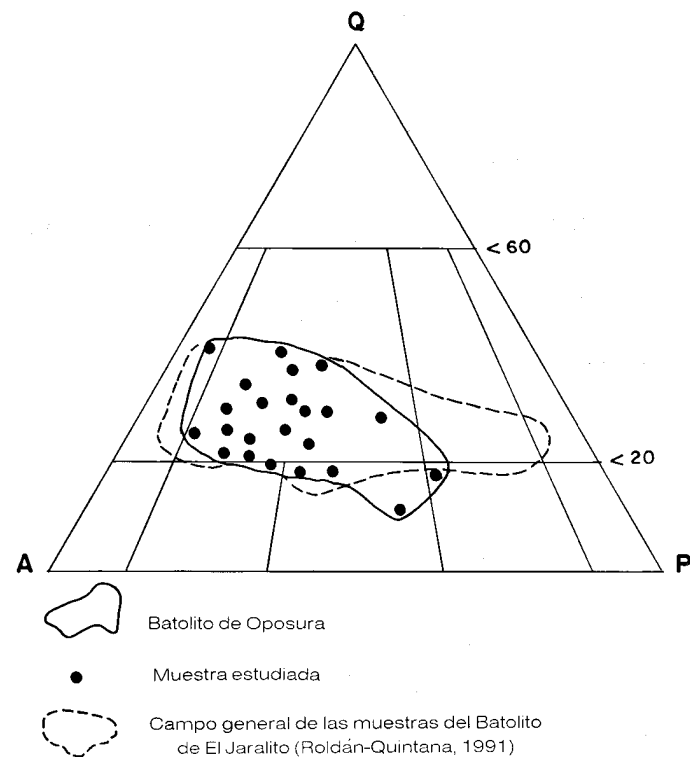


Figura 3.- Composición modal de 23 muestras del Batolito Oposura, de acuerdo con la clasificación de Streckeisen (1974). Fueron contados 800 puntos por lámina. Q—cuarzo, P—plagioclasa, A— feldespato alcalino y albita.

El mayor número de muestras corresponde a granito *sensu stricto*. Otras composiciones incluyen un granito alcalino, cuarzomonzonita, cuarzosienita y cuarzomonzodiorita, de acuerdo con la clasificación modal de Streckeisen (1974). En lámina delgada, estas rocas son holocristalinas, faneríticas de grano grueso (mayor que 5 mm), siendo sus cristales subhedrales. Las texturas más comunes observadas a escala microscópica son las mirmequíticas, en las que en los bordes de las plagioclasas se observa intercrecimientos vermiculares de cuarzo. Otra textura sumamente frecuente es la micropertítica, donde se observó intercrecimientos de microclina con albita. Esta textura es más frecuente en los fenocristales de microclina superiores a 2 mm.

Las texturas gráficas son poco comunes a escala microscópica en los granitos, pero son abundantes en las pegmatitas, a escala megascópica.

En cuanto al tamaño de los minerales, como ya se indicó anteriormente, se trata de rocas porfídicas. En el microscopio

se observó dos tamaños de cristales de feldespatos; unos superiores a 2 mm, que pueden ser de feldespato potásico o plagioclasa y se presentan generalmente muy alterados; los restantes, los más pequeños (menores que 2 mm), son de albita y generalmente están sin alteración hidrotermal. El tamaño de los cristales de cuarzo es de 0.5 mm y es menor que el de los cristales de microclina.

Los porcentajes de minerales esenciales obtenidos de la composición modal de 15 muestras consisten en 32% de cuarzo, 25% de plagioclasa y 45% de microclina, ortoclasa y albita. Los minerales accesorios más comunes incluyen biotita (6%), hornablenda (3%), esfena (2%), minerales opacos (2%) y, como constituyentes menores, zircón y apatita. Únicamente en dos láminas delgadas se identificó muscovita, que pudiera ser primaria.

De las 23 láminas delgadas estudiadas, únicamente cinco presentan indicios de deformación cataclástica, observándose brechamiento alrededor de los bordes de los cristales de cuarzo y de la matriz. El cuarzo generalmente presenta extinción ondulante, y en algunos casos las plagioclasas están dobladas.

En el diagrama de la Figura 3, se muestra que las rocas del Batolito Oposura están localizadas en el campo de las facies más félsicas (granitos) del campo general de la composición modal del batolito El Jaralito, localizado a 80 km al sudoeste de Oposura (Roldán-Quintana, 1991).

Fueron hechos 11 análisis químicos por elementos mayores de rocas graníticas del Batolito Oposura, por absorción atómica. En la Tabla 1 se muestra los resultados de los análisis, así como los valores calculados para las normas CIPW; la localización de las muestras se indica en el mapa geológico (Lámina 1).

A diferencia del batolito El Jaralito (Roldán-Quintana, *op. cit.*), donde los valores de corindón normativo son generalmente bajos o inexistentes, en el Batolito Oposura se encontró que estos valores son altos.

Los valores altos de Al_2O_3 y su reflejo en la presencia de corindón normativo se interpreta como producto de actividad hidrotermal. Esta interpretación se apoya en el hecho de que existen valores también altos de Fe_2O_3 y en que en algunas láminas delgadas se observó caolinización de las plagioclasas.

Tabla 1.- Análisis químico y norma CIPW calculada para las rocas graníticas de la parte meridional del Batolito Oposura.

MTRA. No.	57-88	70-88	71-88	72-88	75-88	79-88	82-88	85-88	87-88	88-88	95-88
SiO ₂	62.09	64.76	63.00	68.88	62.11	68.60	61.76	58.52	63.26	66.26	65.62
TiO ₂	0.62	0.74	0.68	0.18	0.91	0.68	0.92	1.36	1.15	1.00	1.75
Al ₂ O ₃	18.76	17.56	17.83	16.14	19.01	16.89	18.95	18.37	17.50	17.50	18.74
Fe ₂ O ₃	2.49	2.57	2.64	1.57	2.17	1.82	0.44	2.84	0.57	1.00	0.14
FeO	3.16	2.68	2.36	0.64	2.20	1.64	3.55	4.30	3.58	2.56	2.30
MnO	0.10	0.08	0.08	0.04	0.09	0.08	0.32	0.16	0.07	0.06	0.08
MgO	1.89	1.51	1.57	0.52	1.09	0.75	2.02	1.62	1.36	1.39	0.69
CaO	2.01	1.48	2.45	0.66	2.32	1.20	2.76	4.38	2.68	1.46	0.60
Na ₂ O	4.49	4.04	4.08	3.85	4.97	4.15	4.33	3.95	4.20	3.86	4.93
K ₂ O	3.73	3.67	4.03	5.84	2.50	2.85	2.13	2.32	4.13	4.32	4.63
P ₂ O ₅	0.36	0.16	0.16	0.07	0.19	0.06	0.08	0.06	0.02	0.36	0.06
CO ₂	0.00	0.00	0.62	0.00	0.61	0.00	0.80	0.60	0.00	0.00	0.00
H ₂ O	0.25	0.23	0.28	0.22	0.22	0.23	0.30	0.30	0.43	0.43	0.49
Total	99.95	99.48	99.78	98.61	98.39	98.85	98.37	98.78	98.95	100.2	100.05

NORMAS CIPW*

Qtz	12.55	19.72	15.93	21.27	17.52	26.76	18.36	13.49	13.77	21.57	16.87
Mag	22.08	21.83	23.91	35.03	15.03	17.04	12.92	13.90	24.74	25.56	27.45
Ilm	38.07	34.41	34.67	33.08	42.80	35.54	37.61	33.91	36.04	32.71	41.87
An	7.87	6.45	7.33	2.91	6.65	5.67	13.05	17.84	13.37	5.13	2.63
Hy	11.22	9.52	9.40	3.92	7.14	5.41	9.70	11.55	7.27	6.62	2.27
Mt	1.42	1.32	1.24	0.55	1.11	0.87	1.06	1.82	1.09	0.91	0.64
Il	1.18	1.42	1.30	0.35	1.76	1.31	1.80	2.63	2.22	1.91	3.34
Ap	0.85	0.38	0.38	0.17	0.46	0.14	0.19	0.14	0.05	0.85	0.14
Crn	4.47	4.63	4.11	2.48	5.84	4.99	5.00	2.96	1.31	4.61	4.68
Cal	-	-	1.42	-	1.41	-	0.19	1.38	-	-	-
Total	99.73	99.68	99.67	99.75	99.73	99.73	99.88	99.64	99.85	99.87	99.91

Análisis hechos por Pablo Peñaflores-Escárcega en la Estación Regional del Noroeste del Instituto de Geología en Hermosillo, Sonora, por el método de Absorción Atómica.

* Calculadas mediante computadora por J.J. Cochemé, de la Universidad de Marsella, Francia.

Es posible que una parte de la albita sea de origen hidrotermal. Por último, es conveniente recalcar que sólo en dos láminas se identificó muscovita y en el campo no fueron reconocidos granitos de dos micas.

Con base en los análisis químicos por óxidos, se preparó la Figura 4, que muestra la variación de SiO₂ con relación a los óxidos de Na, Ca, Mg, Fe (total) y Al. La tendencia de los puntos en estos diagramas sugiere que estas rocas sean comagmáticas. Una muestra del intrusivo Las Taunitas, localizado 9 km al sur del Batolito Oposura, se aparta un poco de la tendencia general de las otras rocas.

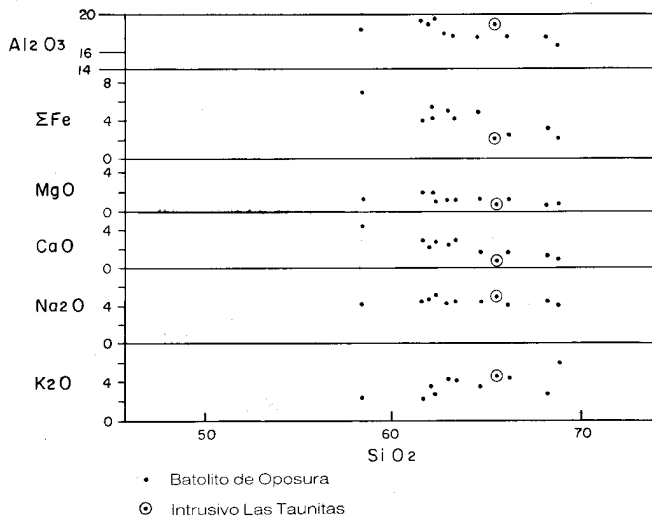


Figura 4.- Diagramas de variación de sílice (%) contra óxidos de K, Na, Ca, Mg, Fe y Al (%), de las muestras analizadas (Tabla 1).

Se preparó un diagrama AFM con algunos datos de los análisis químicos de las rocas del Batolito Oposura, mostrando una tendencia calcialcalina, como se indica en el diagrama de la Figura 5.

Únicamente han sido publicadas dos fechas K-Ar del Batolito Oposura (Damon *et al.*, 1983); la primera corresponde a una granodiorita porfídica, usando biotita, para la que se obtuvo una edad de 59.6 ± 1.3 Ma. La segunda muestra fechada corresponde a una granodiorita y también en ella se analizó biotita, obteniéndose una edad de 62.7 ± 1.4 Ma. Se localiza las muestras en el extremo sudoriental del batolito, en los alrededores del rancho El Encino. Ambas fechas isotópicas corresponden al Paleoceno tardío; edad que se confirma con las relaciones de campo, donde se observó que las calizas del Cretácico Inferior y las rocas volcánicas y volcanoclásticas del Cretácico Superior sufren la intrusión de las rocas graníticas del Batolito Oposura.

Diques pegmatíticos

Las pegmatitas son simples, solamente en algunas se observó zoneamiento. Fueron identificados dos rumbos principales, uno N20-40°W y otro N60-70°E, además de otros

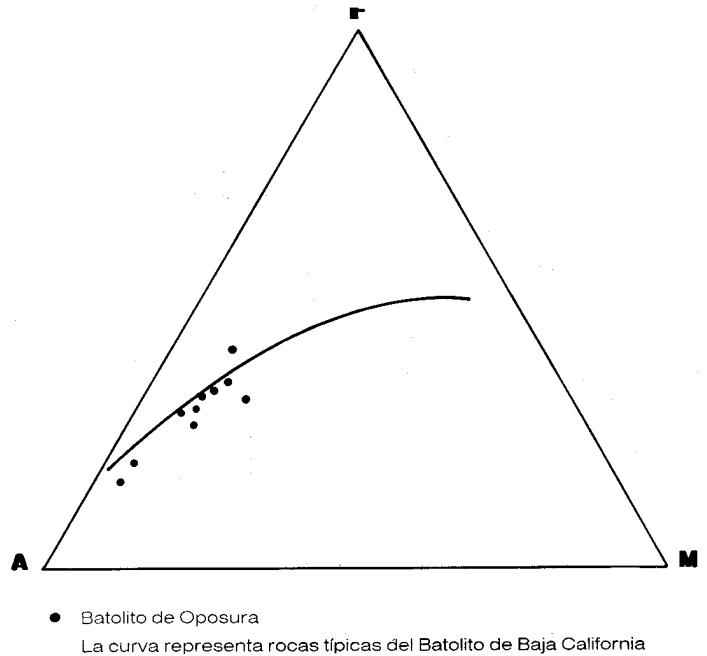


Figura 5.- Diagrama AMF para rocas del Batolito Oposura, comparado con una tendencia generalizada para el batolito de Baja California (Larsen, 1948). A = Na₂O + K₂O; F = FeO + 0.9Fe₂O₃; M = MgO.

diferentes, aunque menos importantes en número. En la Figura 6 se muestra los datos estructurales de las pegmatitas; su rumbo predominante es de N10-40°W, y son las de mayor espesor (0.1-1 m); esta dirección coincide de manera general con el rumbo de la estructura de las fallas que delimitan la Provincia de Sierras y Valles.

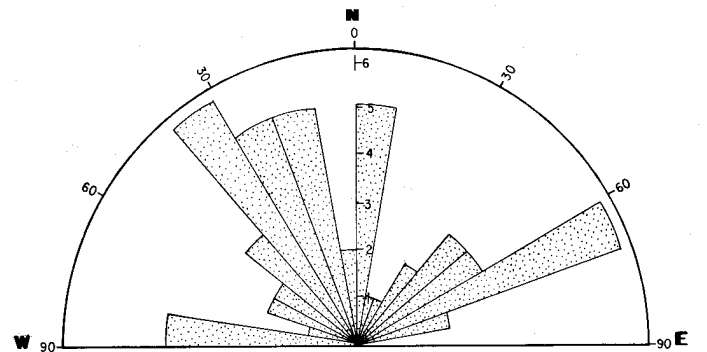


Figura 6.- Rumbos principales de los diques pegmatíticos en el Batolito Oposura. El diagrama se construyó a partir de 52 mediciones de rumbo.

La otra dirección preferente de las pegmatitas es N40-70°E, perpendicular a la primera dirección de manera general; el espesor varía entre 0.05 y 0.5 m. Su buzamiento es hacia el noroeste, o bien son verticales. Su longitud puede ser de varias centenas de metros. En el mapa geológico (Lámina 1) se muestra la localización de sólo algunas de las pegmatitas y únicamente en áreas que fueron visitadas durante el trabajo de campo.

La roca encajonante de las pegmatitas puede ser de cualquiera de las litologías presentes en el batolito, con excepción de los diques andesíticos que generalmente las cortan.

La mineralogía de las pegmatitas consiste en cuarzo, generalmente lechoso, en pocos lugares cristalino; en algunos sitios fueron observados diques exclusivamente de cuarzo. Contienen además microclina, ortoclasa y albita como feldespatos alcalinos; estos minerales están tanto en los diques de cuarzo como en las pegmatitas. También se observó biotita y muscovita; estos minerales se encuentran en menor proporción que los feldespatos. Las micas están en los contactos con la roca encajonante; la biotita se presenta en mayor proporción. La epidota es un mineral abundante, estrechamente asociado a las pegmatitas; fue observado en pequeñas bolsas de decenas de centímetros de espesor y algunos metros de longitud; fueron identificados excelentes cristales tabulares de color verde oscuro. Existe, además, granate rojo, turmalina, pirita y en pocas localidades se observó berilo.

Además de los minerales descritos, Garza-González (1960) consignó la presencia de scheelita, aunque este mineral se presenta en áreas fuera de las localidades con berilo, posiblemente en techos colgantes relacionados a rocas calcáreas. El mismo autor relata que en 1943 la región meridional de la sierra de Oposura fue explotada por scheelita, habiéndose extraído tonelajes considerables.

Con relación al berilo, Garza-González (1960) realizó un estudio más detallado de las pegmatitas y al respecto dice textualmente lo siguiente: "Se descubrieron y estudiaron más de 80 localidades con manifestaciones de berilo además de aquellas en que previamente existían pequeños trabajos mineros que corresponden a varias decenas de diques pegmatíticos y de cuarzo con contenido de berilo". A los lectores interesados en más detalles sobre el berilo en la sierra de Oposura se sugiere ver el estudio de Garza-González (*op. cit.*).

Otros cuerpos intrusivos

Estos cuerpos tienen dimensiones menores e incluyen un tronco de cuarzodiorita y otro de composición andesítica; ambos afloran en los bordes del batolito. La cuarzodiorita aflora inmediatamente al oeste del rancho Tonibabi, donde corta las rocas volcánicas y volcánicoclásticas prebatolíticas; en esta zona se observa grandes áreas de oxidación y alteración hidrotermal en las rocas volcánicas. En su parte septentrional, el tronco de cuarzodiorita penetra en el Batolito Oposura.

La cuarzodiorita es una roca porfídica de color gris oscuro, generalmente silicificada, con fenocristales de plagioclasa, cristales más pequeños de cuarzo y minerales opacos. No fueron hechos estudios más detallados en estas rocas. Los troncos andesíticos afloran al oriente del rancho La Bidorama, en la parte nororiental del mapa geológico (Lámina 1); existen otros troncos andesíticos fuera del área estudiada. Estas rocas andesíticas se introducen en las rocas volcánicas prebatolíticas y, por esta razón, fueron agrupadas con las rocas batolíticas. Se trata de una roca afanítica en la que solamente se puede distinguir plagioclasa y hornablenda muy oxidada. En la porción más superior de este intrusivo, se observó vesículas y

estructuras de flujo, por lo que el presente autor piensa que estos cuerpos se hayan emplazado a una profundidad más somera y quizás en algunos casos correspondan a verdaderas lavas; sin embargo, para aclarar lo anterior serán necesarios estudios más detallados.

ROCAS POSTBATOLÍTICAS

Consisten principalmente en rocas clásticas y volcánicas de composición intermedia a básica. Dentro del área descrita, hacia la parte meridional del batolito, derrames y aglomerados de andesitas cubren discordantemente a las rocas graníticas del Batolito Oposura. Hacia el poniente, su contacto es por falla, o bien están cubiertas discordantemente por rocas clásticas, posiblemente del Terciario superior (Lámina 1). Hacia el oriente, bajando al valle del río Bavispe, en las cercanías del rancho La Cueva, fueron cartografiadas rocas de la Formación Báucarit. En este lugar, en la base consiste de gruesos espesores de brechas y derrames de basalto y, hacia la cima, contiene conglomerados polimícticos de fragmentos semiangulosos de 1-30 cm de basalto, andesita, riolita y granito, en una matriz arenosa. En esta zona se estima un espesor de aproximadamente 900 m para la Formación Báucarit. Esta unidad, a su vez, se encuentra cubierta por rocas clásticas no diferenciadas que contienen areniscas y capas de yeso. Las rocas clásticas más jóvenes están en el valle del río Moctezuma, del cual sólo se muestra una pequeña porción en el mapa geológico (Lámina 1). Dentro de estas rocas se encontró restos de vertebrados, que consisten en dientes de caballo y venado, y que fueron identificados por Ismael Ferrusquía-Villafranca, del Instituto de Geología de la UNAM, quien les asignó una edad pleistocénica media. Las rocas donde fueron encontrados los fósiles anteriormente mencionados consisten en una secuencia de limolitas y conglomerados poco cementados, que descansan en formas concordantes sobre un derrame de basalto.

En el valle del río Moctezuma, al SW del rancho Tonibabi (Lámina 1), al sur de la carretera a Moctezuma, afloran derrames de basalto con olivino, plagioclasa y clinopiroxeno. Se obtuvo una edad de 520,000 años para estos basaltos por el método K-Ar (Paz-Moreno, 1985).

DISCUSIÓN DE LOS ASPECTOS ESTRUCTURALES

La mayor parte del área que se describe corresponde a un bloque levantado (Lámina 2), limitado hacia el oeste por el *graben* de Moctezuma; al oriente, hacia el valle del río Bavispe, aunque hay fallas no son tan evidentes. Estas fallas tienen una orientación N15-30°W, y son normales. La falla que aflora al oriente de Moctezuma parece haber tenido actividad ígnea relacionada en los últimos 500,000 años (Paz-Moreno, 1985). Hacia el noreste, en el valle de San Bernardino y en la zona de Batepito-Bavispe (Figura 2), en 1887 tuvo lugar un sismo de magnitud 7.2 en la escala modificada de Mercalli, relacionado con fallas de este tipo (DuBois y Smith, 1980).

Con base en la geología del área, es posible que el bloque levantado de la sierra de Oposura haya sufrido levantamiento y una intensa erosión, habiendo permitido que sean expuestas rocas cretácicas y que su cubierta prebatolítica se haya erosionado. Este nivel de erosión en el área de la sierra de Oposura contrasta notablemente con el de las serranías al oeste de Moctezuma, donde el espesor de la cubierta de rocas volcánicas terciarias es más grueso—del orden de 400 m—(Rosas-Solís y Olavide-Tello, 1984; Deen y Atkinson, 1988). Localmente, además de las fallas normales de dirección noroccidental, el rasgo estructural más importante es el plegamiento homoclinal de gran amplitud, mostrado por la unidad superior de las rocas volcánicas prebatolíticas (Lámina 1). Como se indicó anteriormente, en el batolito el rumbo principal de los diques y del fracturamiento es N10-40°W; otro sistema menor de fracturamiento es N30°E. Dentro del intrusivo, en un número limitado de localidades, se observó alineación en las rocas graníticas con un rumbo hacia el NE. Como se puede ver en las secciones estructurales (Lámina 2), en el subsuelo la roca predominante es el granito, el Batolito Oposura parece continuar hacia el sur (sección C-D; Lámina 2); lo anterior pudiera tener repercusiones económicas importantes.

CONCLUSIONES

El Batolito Oposura constituye uno de los afloramientos del complejo intrusivo denominado batolito Laramide (90-40 Ma) de Sonora (Damon *et al.*, 1983), localizado hacia el oriente del Estado de Sonora. En esta región, las edades de los intrusivos varían de 50-62 Ma, correspondiendo al Terciario temprano (Paleógeno). La composición modal del Batolito Oposura coincide de manera general con la del batolito El Jaralito (Roldán-Quintana, 1991), localizado a 80 km al suroeste. La composición química de las muestras analizadas del Batolito Oposura muestra una tendencia calcálica. La presencia de corindón normativo se interpreta como un producto de actividad hidrotermal, pues no fueron identificados granitos de dos micas, aunque éstos pudieran estar a profundidad y relacionados con las pegmatitas. Durante el trabajo de campo, dentro del área del batolito, fueron identificadas algunas áreas con alteración hidrotermal que, durante el muestreo, se trató de evitar. Una posible fuente de contaminación pudieran ser las pegmatitas que se introducen en los granitos y que contienen granate rojo y abundante muscovita; ambos minerales contienen aluminio.

La presencia de una cantidad mayor de áreas con alteración hidrotermal en el Batolito Oposura que en el batolito El Jaralito pudiera deberse a que el nivel de erosión en el primero es en general más somero que en el segundo.

De acuerdo con los trabajos de Dickinson (1975) sobre la variación de SiO₂ y K₂O en zonas de subducción, se esperaría un aumento de sílice y potasio hacia el oriente en estos batolitos. Sin embargo, con los escasos análisis químicos disponibles actualmente para ambos batolitos, no es posible apre-

ciar estas diferencias, observándose únicamente muy pequeñas diferencias en los análisis por elementos mayores. Estas diferencias no se considera definitivas en los valores de algunos óxidos, requiriéndose llevar a cabo un muestreo más exhaustivo.

Se ha comprobado que estas diferencias químicas pueden detectarse con mayor facilidad si se cuenta con análisis por elementos indicio de los intrusivos, pero no fue posible obtenerlos para el Batolito Oposura.

En la parte meridional del Batolito Oposura no fueron identificados granitos de dos micas; sin embargo, son abundantes los diques pegmatíticos más jóvenes que el batolito y que contienen biotita y muscovita; algunas de estas pegmatitas contienen granate rojo y, en algunos casos, berilo. También dentro del área de afloramiento del Batolito Oposura fueron identificadas pequeñas áreas con xenolitos de gabronorita que están restringidos a su porción occidental (Lámina 1). Los contactos entre los xenolitos básicos y los granitos son mayoritariamente abruptos; sin embargo, fueron observados algunos transicionales.

Las fallas normales de orientación N15-30°W son las estructuras más importantes por sus dimensiones en esta porción del Estado, y son consideradas fallas activas.

En la parte meridional del Batolito Oposura, fueron explotados en el pasado yacimientos de tungsteno como skarns asociados a pequeños techos colgantes calcáreos sobre el mismo. Existen algunas vetas de plomo-plata asociadas a un tronco cuarzodiorítico, o bien cerca de los contactos entre el batolito y las rocas volcánicas. La mineralización de berilo asociada a las pegmatitas es un recurso que deberá evaluarse con mayor detalle para conocer su verdadera potencialidad.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue financiado por el Instituto de Geología de la Universidad Nacional Autónoma de México y forma parte de los programas de investigación de la Estación Regional del Noroeste, en Hermosillo, Sonora. Se agradece al personal administrativo y de apoyo técnico de la estación su desinteresada ayuda durante el desarrollo de este proyecto.

Asimismo, se agradece a Martín Chaparro, Jorge Soto y Jesse Urrutia-B., estudiantes del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, su ayuda durante el trabajo de campo; el Ing. Pablo Peñaflor-Escárcega, de la Estación Regional del Noroeste, llevó a cabo los análisis químicos de las muestras de granito por el método de absorción atómica. El Dr. Jean Jacques Cochemé, de la Universidad D' Aix Marseille III en Francia, gentilmente procesó los datos de los análisis químicos para calcular las normas. El Dr. César Jacques-Ayala, del Instituto de Geología, discutió con el autor la primera versión del manuscrito, mejorando notablemente su claridad. El Dr. Efrén Pérez-Segura, del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora, asesoró al autor en los estudios petrográficos y leyó la primera versión de este estudio. Los

doctores Thomas H. Anderson y John Mark Staude revisaron críticamente el manuscrito final, haciendo valiosas sugerencias que permitieron mejorar el contenido de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berchenbriter, Dean, 1976, The geology of La Caridad Fault, Sonora: University of Iowa, tesis de maestría, 80 p. (inéedita).
- Bolich, L.C., 1969, Petrografía de la parte occidental del tronco de Juriquipa, Nacozari, Sonora, México: University of Texas at El Paso, tesis de maestría (versión en español), 92 p. (inéedita).
- Chiapa-Chavarría, Armando, y Thoms, J.A., 1971, Bosquejo geológico del distrito minero de Nacozari: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Convención Nacional, 9. Libro guía de excursiones, Distrito Sonora, 11 p.
- Darron, P.E.; Shafiqullah, Muhammad; Roldán-Quintana, Jaime; y Cochemé, J.J., 1983, El batolito Laramide (90-40 Ma) de Sonora: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Convención Nacional, 15. Memoria, p. 63-95.
- Dickinson, W.R., 1975, Potash-depth (K-h) relations in continental margin and intra-oceanic magmatic arcs: *Geology*, v. 3, p. 6-53.
- Deen, A.J., y Atkinson, W.W., 1988, Volcanic stratigraphy and ore deposits of the Moctezuma district, Sonora, Mexico: *Economic Geology*, v. 83, p. 1841-1855.
- DETENAL, 1982, [Hoja] Madera (H12-9), Chihuahua: México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección de Estudios del Territorio Nacional, Carta Geológica escala 1:250,000.
- 1983, [Hoja] Nacozari (H12-6), Sonora: México, D.F., Secretaría de Programación y Presupuesto, Dirección de Estudios del Territorio Nacional, Carta Geológica escala 1:250,000.
- DuBois, S.M., y Smith, A.W., 1980, The earthquake in San Bernardino valley, Sonora—historic accounts and intensity patterns in Arizona: Tucson, University of Arizona, Bureau of Geol. and Min. Techn., Special Paper 3, 112 p.
- Gaines, R.V., 1965a, Moctezumite, a new lead uranyl tellurite: *American Mineralogist*, v. 50, p. 1158-1163.
- 1965b, Mineralización de telurio en la mina La Moctezuma, cerca de Moctezuma, Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 75, pte. 1, p. 1-5.
- 1969, Cliffordite—a new tellurite mineral from Moctezuma, Sonora, Mexico: *American Mineralogist*, v. 54, p. 697-701.
- Garza-González, Romeo, 1960, Yacimientos de berilo en la sierra de Oposura, Municipio de Moctezuma, Sonora: México, D.F., Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, tesis de licenciatura, 60 p. (inéedita).
- González-León, Carlos, 1988, Estratigrafía y geología estructural de las rocas sedimentarias del área de Lampazos, Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 7, p. 148-162.
- Larsen, E.S., Jr., 1948, Batholith and associated rocks of Corona Elsinore and San Luis Rey quadrangles, southern California: *Geological Society of America, Memoir* 29, 182 p.
- Marrs, C.D., 1979, Geology and depositional environment of the Oposura massive sulfide, Sonora, Mexico: Tucson, University of Arizona, tesis de maestría, 129 p. (inéedita).
- McAnulty, W.N., Jr., 1970, Geology of the northern Nacozari district, Sonora, Mexico: University of New Mexico, disertación doctoral, 169 p. (inéedita).
- Paz-Moreno, F., 1985, Composición y origen de los basaltos (malpaís) plio-cuaternarios de Moctezuma, Sonora, México: Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Boletín, v. 2, núms. 1 y 2, p. 9-15.
- 1987, Geología de los campos basálticos de Moctezuma y Huépari, Sonora central: Hermosillo, Universidad de Sonora, tesis de licenciatura, 57 p. (inéedita).
- Raisz, Erwin, 1964, *Landforms of Mexico* (2ª ed.): Cambridge, Mass., edición privada, mapa con texto, escala 1:3'000,000.
- Ramírez-Rubalcaba, José; Osoria, Amador; De la Campa, Genaro; Alarcón-López, Ubaldo; Aguilera, Eduardo; y Velasco-Hernández, Juan, 1973, Investigaciones geológico-mineras sobre cobre en los prospectos de Los Alisos, La Caridad y El Alacrán — Reconocimiento geológico y geofísico regional en el distrito de Nacozari, en el Estado de Sonora: México, D.F., Consejo de Recursos Minerales, Boletín 79, 97 p.
- Roldán-Quintana, Jaime, 1979, Geología y yacimientos minerales del distrito de San Felipe, Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 3, p. 97-115.
- 1991, Geology and chemical composition of the Jaralito and Aconchi batholiths in east-central Sonora, Mexico: *Geological Society of America, Special Paper* 254, p. 69-80.
- Roldán-Quintana, Jaime, y Solano-Rico, Baltasar, 1978, Contribución a la estratigrafía de las rocas volcánicas del Estado de Sonora: Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Boletín, v. 1, núm. 1, p. 19-26.
- Rosas-Solís, Alfonso, y Olavide-Tello, Santiago, 1984, Geología del distrito Oposura; Notas de la visita a la mina La Bamboya, Municipio de Moctezuma, Sonora: Asociación de Ingenieros de Minas, Metalurgistas y Geólogos de México, Distrito Sonora, Curso sobre depósitos de oro y plata relacionados al vulcanismo, 15 p.
- Santillán, Manuel, 1936, Berilo y berilio en Mexico: *Congreso Geológico Internacional*, 16, Washington, D.C., v. 2, p. 1091-1097.
- Streckeisen, A., 1974, Classification and nomenclature of plutonic rocks: *Geologische Rundschau*, v. 63, p. 773-786.
- Theodore, Ted, 1976, Geology and geochemistry of the Nacozari porphyry copper district, Sonora, Mexico: U.S. Geological Survey Open-File Report, 28 p.

Manuscrito presentado: 3 de abril de 1991.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 29 de junio de 1993.

Manuscrito aceptado: 9 de agosto de 1993.