

EVOLUCION TECTONICA DEL ESTADO DE SONORA

Jaime Roldán-Quintana*

RESUMEN

En el norte del Estado de Sonora, afloran dos fajas de rocas precámbricas, al este son más jóvenes (1,600-1,700 m. a.) que al oeste (1,700-1,800 m. a.). Litológicamente corresponden a esquistos, cuarcitas, gneises e intrusivos calcálicos. Estas rocas sufrieron durante el Precámbrico una historia compleja de deformación, metamorfismo e intrusión y fueron cubiertas con discordancia angular al final del Precámbrico por rocas calcáreas marinas. Las rocas cámbricas cubren sin discordancia aparente las rocas sedimentarias precámbricas. La litología predominante de las rocas paleozoicas es caliza, arenisca y lutita. Los afloramientos del Paleozoico se presentan en forma aislada, en el norte y centro de Sonora. La dirección estructural predominante de las rocas paleozoicas es NW a NS. En el Mesozoico, durante el Triásico Tardío se depositaron gruesas secuencias de clásticos y lentes de carbón que descansan discordantemente sobre rocas paleozoicas. En el NW de Sonora se han identificado espesores grandes de rocas volcánicas, intrusivas y volcánicas levemente metamorfoseadas del Liásico-Oxfordiano; estas rocas forman parte de un arco magmático construido sobre la corteza continental con una dirección general NW; se asigna, tentativamente, una edad post-oxfordiana a pre-apitana para esta deformación. Se considera a este complejo volcánico como el resultado de una zona de subducción. El Cretácico está representado por rocas calcáreas y clásticas, de ambientes marino y continental. En general el rumbo de las rocas cretácicas es NW. Durante el Cretácico se distinguen dos eventos de compresión, el primero durante el Cretácico medio expresándose por pliegues recostados hacia el noreste y cabalgaduras de poca amplitud en la misma dirección. Durante el Cretácico Tardío-Paleoceno sucede un importante plutonismo, al mismo tiempo se lleva a cabo la Orogenia Laramide. En el Terciario predomina la actividad volcánica, sin embargo, se han reportado en el subsuelo de la costa norte de Sonora rocas marinas de edad miocénica a pliocénica. El sistema de fallas de Sierra y Cuencas se inicia en el Mioceno. En la mayor parte del Terciario la deformación está asociada a esfuerzos de tensión, régimen que continúa hasta el Cuaternario.

ABSTRACT

In northern Sonora two belts of Precambrian rocks are exposed, the youngest rocks are towards the east (1,600-1,700 m.y.), in northwestern Sonora the older rocks are exposed (1,700-1,800 m.y.). The main lithologies are schists, quartzites, gneisses and calcalkaline intrusives. These rocks have suffered a complex history of deformation, metamorphism and intrusion. These metamorphic rocks were unconformably covered by marine sedimentary carbonates at the end of the Precambrian. Cambrian rocks are concordant with the sedimentary Precambrian rocks. The more common lithologies among the Paleozoic rocks are limestones, sandstones and shales. The outcrops of the Paleozoic rocks are isolated in northern and central Sonora. The prevailing structural direction of the Paleozoic rocks is NW to NS. In the Mesozoic, during Late Triassic thick sequences of clastics with coal lenses were deposited, they unconformably rest on Paleozoic rocks. In northwestern Sonora, thick sequences of volcanic, volcanoclastic and intrusive rocks of Liassic to Oxfordian age have been identified, they are slightly metamorphosed in the green schist facies; these rocks are part of a magmatic arch built on continental crust and with a general NW strike. This deformation is tentatively considered to be post-Oxfordian to the pre-Aptian. This volcanic complex is considered to be the result of a subduction zone. The Cretaceous is represented by calcareous and clastic rocks of marine and continental environments. The general trend of the Cretaceous rocks is NW. During the Cretaceous two compressive events are distinguished, the first of middle Cretaceous age represented by recumbent folds toward the northeast. The second compressive episode was the Laramide Orogeny during Late Cretaceous-Eocene; a very important plutonism is also recorded at this time. In the Tertiary the volcanic activity is dominant; however, marine rocks of Miocene to Pleistocene age have been reported along the coast of northern Sonora. The Basin and Ranges system started in the Miocene. In most of the Tertiary time, deformation is associated to tensional stresses, such regime prevails up to Present.

INTRODUCCION

El presente trabajo constituye un resumen de los estudios regionales publicados sobre la tectónica del Estado de Sonora. Ninguno de ellos fue preparado especialmente para describir la estructura geológica del Estado. Entre los trabajos más destacados de carácter regional, podemos mencionar el de King (1939), quien estudió la geología de una amplia porción del centro-oriente del Estado, haciendo mención, en forma general, de los principales rasgos estructurales de esa región. Fries (1962) presentó una síntesis de las investigaciones publicadas hasta esa fecha sobre las rocas precámbricas y pa-

leozoicas del sur de Arizona, Sonora y Sinaloa. También fueron de gran utilidad los trabajos publicados por Anderson y Silver (1973, 1974 y 1978) sobre rocas precámbricas y edades radiométricas de rocas ígneas en el Estado de Sonora. Otra fuente de información fueron los trabajos de Rangin (1977, 1978a y 1978b) quien trabajó principalmente en el noreste de Sonora, poniendo énfasis en aspectos estructurales de las rocas mesozoicas. Además de estos estudios existen algunos trabajos de carácter local que contienen datos aislados. Asimismo, fue útil la experiencia del autor en la geología de los estados de Sinaloa y Sonora.

Al iniciar el desarrollo del presente resumen el autor encontró diversos problemas para diferenciar épocas de deformación, ya que en las unidades litológicas es difícil apre-

* Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 1039, 8300 Hermosillo, Sonora.

ciar rasgos estructurales definidos, pues han sufrido múltiples etapas deformativas.

Por lo que se refiere a la evolución estructural de las rocas de Sonora en relación a los nuevos conceptos de tectónica de placas, resulta muy difícil relacionarlos por ahora sobre todo con rocas anteriores al Triásico. A este respecto, resultaron muy útiles los estudios más detallados que se han llevado a cabo en el sur de los Estados Unidos de América, principalmente en California, Arizona y Nuevo México; de manera especial, el artículo publicado por Coney (1978) sobre tectónica de placas de la cordillera en el oeste de los Estados Unidos, México y Canadá durante el Mesozoico y el Cenozoico.

El mayor problema en este tipo de compilaciones radica en la falta de una cartografía sistemática del Estado, pues solamente en unas cuantas áreas de superficie muy reducida se han llevado a cabo levantamientos geológicos de cierto detalle; por lo demás, la geología del Estado de Sonora se conoce de una manera bastante vaga, en particular la mitad sur del Estado.

Desafortunadamente, a la fecha no existe un mapa geológico que muestre de una manera clara los rasgos estructurales de las rocas en el Estado, por lo que la siguiente descripción tomará como base el mapa geológico 1:500,000 preparado por el Instituto de Geología de la U.N.A.M. en 1974. Se consideró la posibilidad de presentar una reducción de dicho mapa; sin embargo, no fue posible mostrar muchos detalles por lo que finalmente se decidió no utilizar dicha reducción.

El presente artículo cumplirá su cometido simplemente si llama la atención a los múltiples problemas que están sin resolver sobre la geología y, en este caso particular, la tectónica de Sonora.

PRECAMBRICO

Sus principales afloramientos se localizan en la mitad norte de Sonora; en el sur sólo se han asignado tentativamente al Precámbrico las rocas de la Sierra de Sonábari en los límites con el vecino Estado de Sinaloa (Roldán, 1972).

En el noroeste del Estado afloran las rocas más antiguas reconocidas tanto en Sonora como en México. Anderson y Silver (1978) dividieron al Estado de Sonora en dos fajas de rocas cristalinas con características propias en cuanto a litología y edad. La faja de rocas más jóvenes es la del noreste y está formada por rocas con edades de 1,600-1,700 m.a. La otra faja presenta rocas intrusivas con edades de 1,700-1,800 m.a., lo cual presupone rocas encajonantes más antiguas para la franja de rocas cristalinas del noroeste.

De las áreas antes mencionadas, Damon y colaboradores (1962) y Anderson y colaboradores (1978) llevaron a cabo estudios en los Cerros de la Berruga, inmediatamente al norte del Rancho Bámori, así como en los Cerros de El Arpa (Figura 1).

Las rocas de la franja noroccidental corresponden litológicamente a esquistos de cuarzo y muscovita, cuarcitas y gneises de biotita; cuarzo y feldespato con edades mínimas de 1,750 m.a. La mayor parte del área con rocas metamórficas en el noroeste de Sonora presenta minerales típicos de la facies de anfibolita, aunque se reconoce la preservación de una gruesa sección perteneciente a la facies de esquistos verde.

La litología de la franja nororiental corresponde a esquistos y rocas intrusivas en la Sierra de los Ajos. Estas rocas

han sido correlacionadas por Fries (1962) con los esquistos Pinal del Precámbrico de Arizona. Anderson y Silver (1973) obtuvieron una edad de $1,440 \pm 15$ m.a. por el método U/Pb en el granito de Cananea.

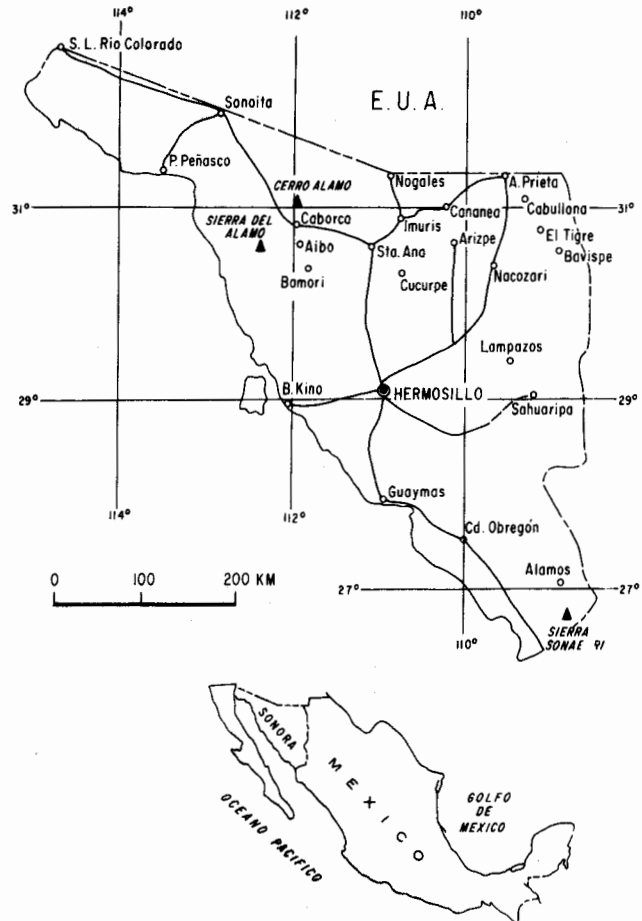


Figura 1.- Mapa de algunas localidades mencionadas en el texto.

En el noroeste de Sonora las rocas precámbricas se encuentran cubiertas con discordancia angular por una sucesión de rocas sedimentarias ligeramente metamorfoseadas que tienen hasta 4,000 m de espesor (Eells, 1972). La litología predominante en esta secuencia de rocas precámbricas (Precámbrico tardío) consisten en dolomita, cuarcita y caliza. En los Cerros de El Arpa esta secuencia descansa discordantemente sobre el granito Aibó, cuya edad es de $1,110 \pm 10$ m.a.

De acuerdo con Anderson y Silver (*op. cit.*) no se han reconocido rocas cristalinas precámbricas al poniente de una línea de dirección NW que se extiende subparalelamente a la costa de Sonora entre las cercanías de Yuma, Arizona y un punto aproximadamente a la mitad entre Hermosillo y Bahía Kino. La terminación de afloramientos precámbricos también se presenta a lo largo de una línea E-W al norte de Hermosillo. Estos límites abruptos sugieren estructuras tectónicas más jóvenes, las cuales se sospecha que jugaron un papel importante, pero aún indefinido, en la aparente ausencia de basamento precámbrico bajo la mayor parte del norte y porción centrooccidental de México. En el noreste de Sonora, las ro-

cas precámbricas se extienden casi hasta el Estado de Chihuahua donde desaparecen bajo la cubierta de rocas más jóvenes.

Estructuralmente las rocas del Precámbrico medio son complejas, siendo el resultado de cuando menos tres períodos de actividad intrusiva y un mínimo de tres eventos metamórficos durante el Precámbrico, además de los efectos de la actividad tectónica más reciente.

En la región al sur de Caborca, la disposición de los afloramientos de las rocas precámbricas y paleozoicas define un anticlinal con orientación N-NE que se ha denominado anticlinal de Bámori.

En los pocos afloramientos que se han estudiado con cierto detalle, como son los Cerros de La Berruga (Anderson *et al.*, 1978), el rumbo predominante de la foliación es N 40° W, aproximadamente; sin embargo, localmente presenta variaciones desde N-S hasta N 30° W. Eells (1972) en los Cerros San Clemente y Cerro Calaveras ha mostrado una estructura bastante compleja para los sedimentos del Precámbrico superior, presentando pliegues invertidos y sobre todo contactos tectónicos con las rocas metamórficas del Precámbrico metamórfico, lo cual nos indica que la mayoría de los afloramientos del Precámbrico Tardío constituye masas alóctonas en el noroeste de Sonora.

Otras áreas de afloramiento del Precámbrico medio consisten en granitos porfídicos y se localizan entre San Luis Río Colorado y Sonoita, en la porción más septentrional del Estado.

La estructura de las rocas asignadas al Precámbrico en el noreste de Sonora es desconocida, pues no existen estudios publicados. Durante el Paleozoico, todas las rocas cristalinas de Sonora formaron parte de un cratón estable. La secuencia sedimentaria del Precámbrico superior en el noroeste de Sonora se encuentra cubierta, sin discordancia aparente, por una sección fosilífera del Cámbrico Inferior en los Cerros de El Arpa.

PALEOZOICO

Los afloramientos de rocas paleozoicas en el Estado se presentan en forma aislada. Se reconocen tres zonas principales de afloramiento. La primera es al poniente y sur de Caborca, la segunda en el noreste, en la región de Bavispe y, la tercera y mayor, en la región al oriente de Hermosillo (Figura 2).

Las rocas paleozoicas comprenden porciones de la mayor parte de los sistemas desde el Cámbrico hasta el Pérmico. La constitución sedimentaria y los rasgos estratigráficos, sugieren que durante el Precámbrico Tardío y todo el Paleozoico, la región representó una plataforma continental que Fries (1962) propuso llamar Fosa Sonorana del Geosinclinal Cordillerano de América del Norte.

Los estudios más detallados que se han llevado a cabo de las rocas paleozoicas de Sonora corresponden a la región de Caborca (Cooper y Arellano, 1946; Cooper *et al.*, 1952, 1953; Cooper, 1956). La litología predominante en el área de Caborca corresponde a dolomitas y calizas, así como a cuarcitas, calcarenitas y muy escasas lutitas. El espesor de una columna compuesta de la región de Caborca es del orden de 6,750 m.

En la región nororiental de Sonora la litología predominante es caliza, seguida por dolomita, caliza con lentes de

pedernal, cuarcita y muy escasa lutita. El espesor de una columna compuesta en esta zona del Estado es de aproximadamente 3,300 m.

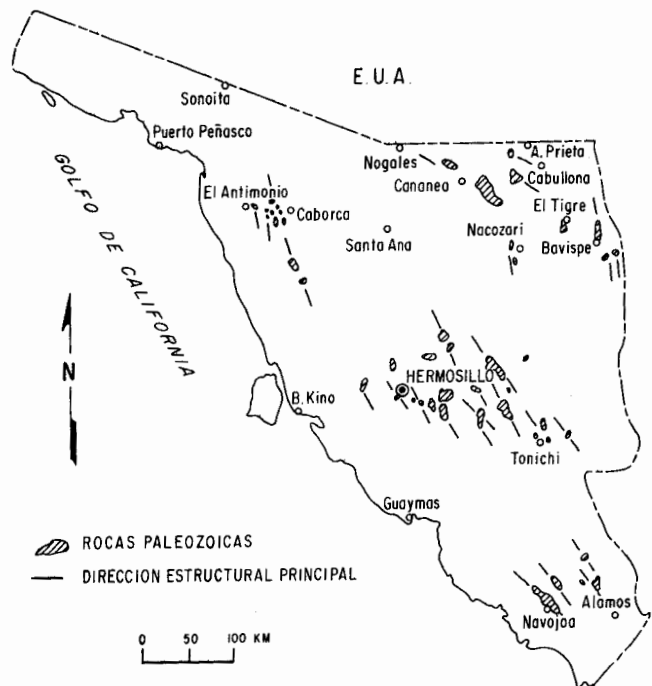


Figura 2.- Principales afloramientos con rocas paleozoicas en el Estado de Sonora.

En la región de Hermosillo la litología de las rocas paleozoicas más abundante es caliza, caliza con lentes de pedernal, escasas dolomitas y areniscas. El espesor de la columna compuesta es de aproximadamente 4,500 m. El espesor de las rocas paleozoicas va disminuyendo del noroeste (región de Caborca) hacia el noreste del Estado.

Movimientos importantes de basculamiento parecen haber afectado a las rocas de Sonora antes del Devónico Medio, quizá como parte de la Orogenia Antlerana. Al oriente de Hermosillo en el área de Cobachi existe una discordancia importante entre el Ordovícico y el Pérmico. Otro hundimiento y la acumulación de sedimentos sobre la plataforma continental de aquel entonces tuvieron lugar desde el Devónico Medio hasta el Misisípico Medio, seguidos por otra época de levantamiento y erosión durante el Misisípico Tardío y el Pensilvánico Temprano (Fries, 1962). Luego vino otra época de depósito en aguas someras desde el Pensilvánico Medio hasta el Pérmico Tardío.

En el mapa del Estado de Sonora que muestra las direcciones estructurales del Paleozoico y del Precámbrico (Fries, 1962), se puede apreciar que las direcciones del Paleozoico en la mitad sur del Estado son muy uniformes siendo de rumbo NW. Esta dirección cambia en la mitad norte. En el noreste, en las regiones de El Tigre, Bavispe y Nacoziari, es casi N-S. Esto mismo sucede en el área de Caborca (Figura 2). En resumen, se puede decir que se conoce de manera muy vaga la estructura de las rocas paleozoicas de Sonora.

Es imposible, por el momento, tratar de interpretar las deformaciones en las rocas paleozoicas de Sonora en relación a las teorías de tectónica de placas. A este respecto, solamente se pueden hacer las siguientes observaciones: McEldowney

(1970) describió interestratos de meta-basalto con rocas paleozoicas (lutitas, conglomerados, pedernales y calizas crinoideas) en la Sierra Pinta en el noreste de Baja California Norte. También en el Estado de Sinaloa, Clark (1971) ha descrito rocas volcánicas de probable edad paleozoica en los alrededores de Sinaloa de Leyva, Sinaloa. También en Sinaloa, Mullan (1978) describió las rocas metamórficas de El Fuerte (en el norte de Sinaloa en los límites con Sonora), asignando la deformación que presentan estas rocas a la Orogenia Nevadiana. En esta parte de México, el mismo autor le asigna una edad mesozoica tardía a dicha deformación; sin embargo, no está seguro de la edad de estas rocas metasedimentarias (Mullan, 1978, p. 1180) y tentativamente asigna una edad del Paleozoico tardío al Grupo Río Fuerte. No obstante, como ya se mencionó antes, resulta muy difícil interpretar estos datos aislados.

MESOZOICO

TRIASICO-JURASICO

A principios del Mesozoico, durante el Triásico Tardío, en Sonora central se depositó en discordancia sobre rocas del Ordovícico, del Silúrico y del Pérmico, una potente secuencia de areniscas rojas con intercalaciones locales de lutitas y carbón, la Formación Barranca (King, 1939). En la porción sur del Estado es donde las rocas de esta edad presentan su mayor área de afloramiento (Cuenca de San Marcial; Alencáster, 1961). Alencáster en la misma publicación propone cambiar el nombre de una "Formación Barranca" al rango de grupo, comprendiendo tres unidades litoestratigráficas: la Formación Arrayanes en la parte inferior, la Formación Santa Clara en la parte media y la Formación Coyotes en la parte superior. De las tres formaciones anteriores, únicamente la Formación Santa Clara ha proporcionado fósiles que son de edad cárnica (Triásico Tardío).

En la Sierra de Santa Rosa, Alencáster (1961, lám. 4) señala 1,400 m de rocas de edad triásica tardía. La misma autora reporta para la Cuenca de San Marcial un espesor máximo de 1,200 m. Los depósitos del Grupo Barranca pueden representar molasas, productos de erosión de los relieves producidos durante la Orogenia Hercínica de fines del Paleozoico (Rangin, 1978b). En la porción nororiental del Estado de Sonora a la fecha no han sido reportadas rocas del Triásico o Jurásico.

En la porción septentrional y noroccidental del Estado se ha identificado, recientemente, una importante franja con rocas volcánicas y volcánicas que cubren un intervalo desde el Liásico hasta el Oxfordiano (Rangin y Roldán, 1978). El espesor de estas rocas en las diferentes áreas estudiadas sobrepasa los 1,000 m. En la Sierra del Alamo la secuencia triásica descansa discordantemente sobre rocas pérmicas y está cubierta concordantemente por limolitas fosilíferas del Jurásico Temprano. El grado de deformación que presentan estas rocas en las diferentes áreas del Estado es muy variable. En términos generales, la dirección estructural de los afloramientos de rocas jurásicas es N 60° W.

En el Cerro Alamo, inmediatamente al NE de Caborca, aflora una potente secuencia de rocas clásticas intrusiva por una diorita foliada. La foliación disminuye hacia el SW, el metamorfismo es de la facies de esquisto verde. Esta sugiere una deformación probablemente durante el Jurásico

Tardío, ya que los intrusivos cretácicos del Terciario Temprano no están foliados.

En la Sierra de Santa Rosa, Hardy (1973) describió rocas volcánicas de edad post-liásica; en Pozo Serna, Stump y Beauvais (1976) reportan una secuencia de edad oxfordiana probablemente relacionada a un episodio volcánico durante ese período.

En la Cuenca de San Marcial, Islas y colaboradores (1978) mencionan que rocas del grupo Barranca se presentan muy deformadas, afectadas por gran cantidad de fallas normales, probablemente del Terciario, aunque muchas no afloran en la superficie, pudiendo ser más antiguas. La estructura original de las rocas triásicas parece ser simple, mostrando un rumbo general aproximadamente N-S, con inclinaciones suaves hacia el oriente; dichas inclinaciones son modificadas frecuentemente por fallas normales.

En el mapa y secciones de King (1939) del centro y sur de Sonora, se puede ver que las rocas de la Formación Barranca presentan pliegues suaves, en contraste con la mayor deformación mostrada por las rocas paleozoicas. En Cucurpe (noreste de Sonora), Rangin (1977) describió una gruesa secuencia volcánica y volcánicas con amonitas de edad oxfordiana. En la costa de Sonora, al norte de la Bahía de Kino, Gastil y Krummenacher (1977) describieron rocas volcánicas mesozoicas.

Todas estas localidades parecen ser parte de una franja volcánica orientada NW-SE, mostrando cambios de facies abruptos en cortas distancias, los cuales aún no se entienden totalmente y se desconocen sus límites precisos.

En el norte de Sonora, los sedimentos del Cretácico Inferior contienen abundante material clástico de origen ígneo, sugiriendo la existencia de la franja volcánica antes mencionada.

La ausencia de derrames u otros materiales de origen volcánico en los sedimentos de esta edad en la porción nororiental del Estado sugiere que la actividad magmática de este arco terminó antes del Cretácico Temprano (Rangin y Roldán, 1978). Se puede concluir entonces que la actividad de este arco se extendió del Liásico al Oxfordiano.

Por lo que respecta al significado de este complejo volcánico en relación a la historia geológica de la margen continental del noroeste de México, podemos decir que en la costa occidental de Baja California varios complejos ofiolíticos se hallan expuestos y sus edades varían del Triásico Tardío al Jurásico Tardío. El complejo ofiolítico del Triásico Superior forma el basamento de un terreno volcánico-plutónico del Jurásico Superior (arco de San Andrés-Cedros); esto supone que esta paleocorteza oceánica triásica superior fue acrecionada a la margen continental durante el Triásico Tardío-Jurásico Tardío.

El complejo volcánico del Liásico-Oxfordiano, presente en Sonora y construido sobre un basamento siálico, podría estar relacionado a la fase inicial de la subducción de la margen continental de Baja California (Rangin, 1978b; Figura 3).

Durante el Jurásico Temprano a Medio (180-155 m.a.), después de la abertura del Atlántico y el Golfo de México, fueron acrecionados sobre Norteamérica terrenos volcánico-plutónicos. Se supone que estos terrenos son de afinidad de arco (Coney, 1978) y están diseminados a lo largo de la margen del Pacífico desde el noroeste de México y el suroeste de Arizona hasta Canadá. No está claro qué tan lejos, o si en realidad este arco se extiende hacia el sur de México. Se infiere que estas

rocas registran una subducción hacia el oriente de la litosfera oceánica. El "megashear" de Anderson y Silver (1974) en el oeste de Sonora podría haber sido una falla transformante durante este tiempo (180 m.a.).

En el Jurásico Tardío-Cretácico Tardío (155-80 m.a.) en Norteamérica sucede la Orogenia Sevier. Toda la margen del Pacífico de Norteamérica desde cuando menos el Golfo de Alaska hacia el sur actuó entre sí con la placa Farallón.

CRETACICO

El contacto entre las rocas del Jurásico y las del Cretácico Temprano no es bien conocido. Rangin (1978a) dividió las rocas cretácicas marinas en tres unidades que se siguen en concordancia:

1) La basal, del Neocomiano (?)-Aptiano. Depósitos detríticos marinos, que se van enriqueciendo con elementos detríticos de origen volcánico del este al oeste.

2) Unidad media, del final del Aptiano-Albiano inferior. Calizas de facies para-arrecifales en el noreste del Estado, graduando progresivamente al oeste a calizas marinas con intercalaciones detríticas y a facies continentales más al oeste.

3) Unidad superior del Cretácico Superior. Depósitos de areniscas y limolitas rojas. Solamente está presente en la porción nororiental del Estado.

En general el rumbo de las rocas cretácicas en Sonora es NW-SE. En el área de Arizpe, Sonora, González (1978) describió cabalgaduras hacia el NE en rocas del Cretácico Inferior; en esta región la deformación es post-albiana y premaestrichtiana.

Durante el Cretácico se pueden distinguir dos eventos de deformación. Un primer período conocido como la fase mesocretácica producido por movimientos de compresión (Rangin, 1978a). Esta fase se expresa por pliegues recostados hacia el noreste y cabalgaduras de poca amplitud en esa misma dirección (Figura 3).

NORTE DE SONORA Rangin (1978)	ESTUDIO GENERAL DE TODO EL ESTADO Frias (1962)
CUATERNARIO.- FALLAS NORMALES N-S	
MIOCENO-CUATERNARIO.- FALLAS NORMALES DE RUMBO NW-SE	MIOCENO.-TECTONICA DE BASIN AND RANGE
CRETACICO TARDIO.-PALEOCENO.-OROGENIA LARAMIDE EN EL NORESTE DE SONORA, RESPONSABLE DE LA CABALGADURA DE BERRANIAS SEPTENTRIO- NALES SOBRE LA CUENCA DE CABULLONA (CRETACICO TARDIO). IMPORTANTE PLUTONISMO EN EL ESTADO.	CRETACICO TARDIO.-PALEOCENO.-OROGENIA LARAMIDE
ALBIANO.-MAESTRICHTIANO.-DEFORMACION EN EL NOR- ESTE DE SONORA. DISCORDANCIA EN LA BASE DEL CRETACICO TARDIO EN ESTA MISMA AREA.	
OXFORDIANO.-APTIANO.-COMPRESION. EROSION DE UN ARCO MAGMATICO EN EL NOROESTE DE SONORA CONSTRUIDO SOBRE BASAMENTO CONTINENTAL	
FINES DEL PALEOZOICO.- OROGENIA DEFORMACION DEBIL.	FINES DEL PALEOZOICO.-OROGENIA SONORANA.
PRECAMBRICO ANTERIOR.-FASE HAZATZAL.	DEVONICO(?).-OROGENIA ANTLER PRECAMBRICO.-REVOLUCION HAZATZAL
* PARA LOS EVENTOS DEL PRECAMBRICO CONSULTAR LOS TRABAJOS DE ANDERSON Y SILVER (1978)	

Figura 3.- Principales eventos tectónicos reconocidos en el Estado de Sonora.

Durante el Cretácico Tardío-Paleoceno ocurrió otro período de deformación y se caracteriza por un importante plutonismo hipabisal que parece migrar del poniente al oriente del Estado (Anderson y Silver, 1974) y por una tectónica de compresión que está bien expresada en el noreste del Estado y que corresponde a la fase Laramide. Merriam y Eells (1979) describen, en el área de Caborca, cabalgaduras con dirección E a SE de edad Laramide. El mismo autor considera que la

mayor parte de la Sierra del Viejo (43 km al SW de Caborca) parece ser una cobijadura sobrepuesta de rocas del Precámbrico tardío.

Por otro lado, hasta ahora no han sido identificadas en Sonora secuencias similares a la Formación Alisitos de Baja California (Cretácico medio). Rangin (1978b) hace notar una migración de los eventos tectónicos del oeste hacia el este, la cual parece estar registrada en el norte de Sonora, la fase mesocretácica afecta a las zonas internas y la fase Laramide a las zonas externas. Durante el Cretácico Tardío al Eoceno tardío (80-40 m.a.) se desarrolló la Orogenia Laramide. La distinción entre las orogenias Sevier y Laramide ha sido clara en el oeste de los Estados Unidos, no siendo posible definir esta separación en México (Coney, 1976).

Los patrones del magmatismo del Cretácico se extienden hacia el noreste durante la época de subducción de la Placa Farallón, una franja característica de levantamientos, generalmente asimétricos, con núcleos de basamento y muchos limitados por fallas inversas en Arizona y Nuevo México. La Orogenia Laramide parece estar limitada por cambios mayores en el movimiento de placas, también a escala global. La mayoría de los complejos ígneos y los patrones estructurales del sur de la cordillera durante el tiempo Laramide, se explica por la rápida convergencia con dirección NE-SW entre la Placa Norteamericana y la joven Placa de Farallón.

CENOZOICO

El límite Mesozoico-Cenozoico está definido por el plegamiento y fallamiento de las rocas previamente formadas, así como por un proceso extenso de intrusión de cuerpos plutónicos, seguidos inmediatamente por la inyección de troncos y diques así como por la extrusión contemporánea de rocas volcánicas.

Durante el terciario predomina la actividad volcánica en el Estado; sin embargo, Gómez (1971) reportó la existencia en el subsuelo de una secuencia clástica de origen marino y de edad miocénica a pliocénica en las áreas de Puerto Peñasco, San Felipe, costa de Hermosillo e Isla Tiburón. Fuera de estas áreas con rocas marinas, los depósitos del Terciario son de ambiente continental. Roldán y Solano (1978) presentaron un resumen de los trabajos publicados sobre rocas volcánicas cenozoicas del Estado en tres grupos principales:

1) Rocas volcánicas del Cretácico Superior-Eoceno. Litológicamente consisten en tobas y derrames de composición andesítica, riolítica y latítica. Las localidades donde afloran dichas rocas son Nacozari, Cananea, El Alacrán, Esqueda y otras.

2) Derrames, tobas, brechas y conglomerados de composición riolítica y andesítica del Oligoceno-Mioceno. Afloran en la costa de Sonora, región de Santa Ana, Cerro del Globo en Nacozari y en la Isla Tiburón. Durante este período la actividad volcánica ácida en forma de grandes calderas dio origen a extensas áreas cubiertas con ignimbritas, en lo que es hoy la Sierra Madre Occidental y grandes áreas volcánicas en los Estados de Nuevo México y Arizona.

3) Rocas volcánicas del Plioceno al Reciente. Rocas de esta edad se encuentran expuestas en los valles de los ríos Sonora y Moctezuma, al sureste de Agua Prieta y en la región de El Pinacate en el noroeste del Estado. La Figura 4 muestra algunas de las edades de rocas volcánicas del Estado.

Localidad	Fecha	Litología	Referencia
C° El Globo, Nacozari Cerca de la mina	24.0 ± 0.4 M.A.	Riolita	Livingston (1973)
Caridad Antigua	51.3 ± 1.0 M.A.	Latita	Livingston (1973)
Nacozari	52.2 ± 1.9 M.A.	Ignimbrita Riol.	Livingston (1973)
Nacozari	52.2 ± 2.5 M.A.	Ignimbrita Riol.	Livingston (1973)
San Felipe de Jesús	21.7 ± 0.4 M.A.	Andesita basáltica	Roldán (1976)
Al noreste de la Libertad	P* 140.0 ± 3.4 M.A.	Andesita	Salas P. (1975)
Al norte de Bahía Kino	F* 5.7 ± 0.6 M.A.	Riolita	Salas P. (1975)
Norte de Bahía Kino	H* 85.1 ± 1.5 M.A.	Andesita	Salas P. (1975)
La Florida Mpio. de Nacozari	42.4 ± 0.9 M.A.	Andesita	Damon (1975)
Sierra Seri	137 ± 3 M.A.	Metarriolita	Anderson (1969)
Sierra Bacha	128 ± 2 M.A.	Metarriolita	Anderson (1969)
Sierra Seri (al oriente del Desemboque)	142 ± 2 M.A.	Riolita	Gastil <i>et al</i> (1977)

* P, plagioclasa; F, feldespato; H, hornblenda
** Tomado de Roldán y Solano (1978).

Figura 4.- Edades geocronométricas obtenidas para rocas volcánicas del Estado de Sonora.**

Además de estas edades, Gastil y Krummenacher (1977) han obtenido edades para rocas volcánicas en la costa entre Bahía Kino y Puerto Libertad. Estas, en términos generales varían entre 6-21 m.a. y en composición litológica consisten en riolita, dacita, andesita y basalto. Solamente se tienen estimaciones sobre los espesores de rocas volcánicas terciarias; para la sección de Barrancas de la Sierra Madre Occidental, King (1939) estimó 1,500 m de espesor. En la región de Cananea, Valentine (1936) reportó una sección de más de 5,400 m; sin embargo, esta última estimación puede incluir rocas volcánicas mesozoicas. Elston (1978) estudió más detalladamente las rocas volcánicas terciarias en los Estados de Nuevo México y Arizona.

Desde el Jurásico hasta el Oligoceno tardío, hubo una progresiva migración del eje del magmatismo hacia el oriente; durante el Mioceno temprano, este movimiento se invirtió (Coney y Reynolds, 1977).

Durante el Eoceno tardío al Mioceno temprano (40 a 20 m.a.), Coney (1978) indica que este período comprende uno de los tiempos más difíciles de interpretar en la historia cordillerana. Durante este tiempo sucede la "explosión" de ignimbritas tan ampliamente distribuidas que identifican claramente este tiempo en la porción meridional de la cordillera con la formación de los complejos de calderas. También se lleva a cabo la formación de los núcleos complejos de gneises intrusivos. El ascenso de estos núcleos complejos y la erupción de calderas representa una manifestación ígneo-tectónica verdaderamente poco común y enigmática que debe ser relacionada a una profunda perturbación tectónica en el ambiente de un arco (Coney, *op. cit.*).

La reconstrucción de las placas tectónicas ha relacionado siempre la explosión de ignimbritas a la subducción de la Placa Farallón. Esto parece claro, ya que hacia el norte la junta triple entre las placas Kula-Farallón Norteamérica donde la Placa Kula o la del Pacífico es movida hacia el norte, se reconoce poca o ninguna actividad de arco. Durante el Paleoceno-Eoceno, continúa la compresión de la Orogenia

Laramide, presentándose las rocas deformadas (pequeños pliegues en rocas volcánicas de esa edad).

Desde el Mioceno temprano hasta el Presente (20-0 m.a.), se produjo el fallamiento en extensión en la Provincia de "Basin and Range", con muy escaso volcanismo bimodal principalmente basáltico. Termina la subducción. Crecimiento de la falla transformante entre la Placa del Pacífico y la Placa Norteamericana (Sistema de San Andrés).

El cambio de un régimen de compresión a uno de tensión se inicia a principios del Mioceno con el inicio del sistema "Basin and Range". En Sonora se ha interpretado esto con base en la edad de los basaltos incluidos en la Formación Báucarit (Roldán, 1976). Elston (1978), empleando un razonamiento similar, coloca el inicio del fallamiento "Basin and Range" en el suroeste del Estado de Nuevo México con la edad miocénica de dos derrames de andesita basáltica que se encuentran interestratificados con areniscas. En el Valle de San Bernardino (noroeste de Sonora), Summer (1977) concluyó, después de llevar a cabo estudios geofísicos en dicho valle, que las fallas relacionadas al sistema "Basin and Range" son activas en esta porción de Sonora. Cabe mencionar que se tiene registro de terremotos en tiempos históricos relacionados con dichas fallas.

La Formación Báucarit cubre áreas muy extensas en el Estado y consiste en areniscas, conglomerados y arcillas, presentando derrames de basalto intercalados. A esta formación se le considera genéticamente asociada al fallamiento "Basin and Range", primeramente porque produjo las condiciones apropiadas para el depósito y conservación de los clásticos y, porque los basaltos asociados a ésta en muchos casos fueron extrusionados a lo largo de fallas de este sistema.

Desde el punto de vista estructural, podemos decir que la mayor parte del tiempo terciario la deformación está asociada principalmente a esfuerzos de tensión que continúan hasta el Cuaternario.

El origen del Golfo de California por separación y deriva de una parte de la corteza continental de la Placa de Norteamérica es comúnmente aceptado. Las anomalías magnéti-

cas registradas en la boca del Golfo permiten fechar su abertura hace aproximadamente 4 m.a. El protogolfo de California se desarrolló probablemente en el Mioceno en una zona de debilidad subsecuentemente favorable para un fallamiento de desplazamiento a rumbo y extensión dentro de las placas (Karig y Jensky, 1972; Blair, 1978).

El sistema de fallas transformantes de San Andrés se inició durante el Mioceno hace 10 ó 15 m.a., pudiendo haber iniciado su movimiento desde el Cretácico (Elders *et al.*, 1972).

Gómez (1971) describe en Sonora la presencia de sedimentos marinos miocénicos superiores en el subsuelo de la costa al poniente de Hermosillo. Durante el Cuaternario continúa la extensión, existiendo en la actualidad evidencias de fallas activas en el noréste de Sonora (Colleta y Ortlieb, 1979). Existen rocas volcánicas del Cuaternario en El Pinacate y en los valles de San Bernardino, Río Moctezuma y otras localidades.

La costa de Sonora permanece relativamente estable, excepto en la zona de la Falla de San Jacinto-Cerro Prieto, donde se puede observar un levantamiento de los depósitos pleistocénicos. El sistema de fallas San Jacinto está controlando al movimiento positivo vertical de la costa septentrional del Golfo al oriente del delta del Río Colorado. Localmente en la costa de Guaymas se observa un hundimiento de dicha zona.

Las características estructurales actuales en la porción oriental de Sonora son fallas normales de rumbo NW-SE. Los planos de falla se encuentran inclinados tanto al oriente como al poniente. En el mapa geológico del Estado, publicado por el Instituto de Geología (1974), se aprecia claramente que la mayoría de los afloramientos parece estar controlada tectónicamente. Por último, se considera que este tipo de fallas controla las características fisiográficas actuales de una gran parte del Estado de Sonora.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alencáster, Gloria, 1961, Estratigrafía del Triásico Superior de la parte central del Estado de Sonora: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Paleontología Mexicana 11, pte. 1, p. 1-18.
- Anderson, T. H., y Silver, L. T., 1973, The Cananea Granite; implications of its Precambrian age: Geol. Soc. America, Abstr. with Programs, v. 5, p. 534 (resumen).
- - - 1974, Late Cretaceous plutonism in Sonora, Mexico and its relationship to Circum-Pacific magmatism: Geol. Soc. América, Abstr. with Programs, v. 6, p. 484 (resumen).
- - - 1978, The nature and extent of Precambrian rocks in Sonora, Mexico: *in* Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G. A., eds., Resúmenes, Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora, Hermosillo, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, p. 9-10 (resumen).
- Anderson, T. H., Eells, J. H., y Silver, L. T., 1978, Rocas precámbricas y paleozoicas de la región de Caborca, Sonora, México: *in* Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G. A., eds., Libro-guía, Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora, Hermosillo, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, p. 5-34.
- Blair, N. W., 1978, Gulf of California in Lake mead area of

Arizona and Nevada during Plate Miocene time: Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., v. 62, p. 1159-1170.

- Clark, F. K., 1971, Resumé of the geology of the Sinaloa de Leyva Quadrangle, Sinaloa, México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, informe (inérito).
- Colleta, Bernard, y Ortlieb, Luc, 1979, Middle Pleistocene to present activity of the San Jacinto-Cerro Prieto Fault at the head of the Gulf of California, Mexico: Jerusalem, Symposium, Dead Sea Rift (resumen).
- Coney, P. J., 1976, Plate tectonics and the Laramide orogeny, New Mexico: New Mexico Geol. Soc., Spec. Publ. 6, p. 5-10.
- - - 1978, Mesozoic-Cenozoic Cordilleran plate tectonics: Geol. Soc. América, Mem. 152, p. 33-50.
- Coney, P. J., y Reynolds, S. J., 1977, Cordilleran Benioff Zones: v. 270, p. 403-406.
- Cooper, G. A., 1956, El Cámbrico de Sonora: México, D. F., Cong. Geol. Internal., 20, Libro-guía de la excursión A-8, 18 p.
- Cooper, G. A., y Arellano, A. R. V., 1946, Stratigraphy near Caborca, northwest Sonora: Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull., v. 30, p. 606-611.
- Cooper, G. A., Arellano, A. R. V., Johnson, J. H., Okulitch, V., Stoyanov, Alexander, y Lochman, C., 1952, Cambrian stratigraphy and paleontology near Caborca, northwest Sonora, Mexico: Smithsonian Miscell. Coll., v. 119, 184 p.
- Cooper, G. A., Dunbar, C. O., Duncan, H., Miller, A. K., y Knight, J. B., 1953, Permian fauna at El Antimonio, western Sonora, Mexico: Smithsonian Miscell. Coll., v. 119, 106 p.
- Damon, P. E., Livingston, E. D., Mauger, R. L., Giletti, B. J., y Pantoja-Alor, Jerjes, 1962, Edad del Precámbrico "Anterior" y de otras rocas del zócalo de la región de Caborca-Altar de la parte noroccidental del Estado de Sonora: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Bol. 64, p. 11-44.
- Eells, J. L., 1972, The geology of the Sierra de la Berruga northwestern Sonora, Mexico: San Diego State College, San Diego, Cal., M. A. thesis, 86 p. (inérita).
- Elders, E. A., Rex, R. W., Meidav, T., Robinson, P. T., y Biehler, S., 1972, Crustal spreading in southern California: Science, v. 178, p. 15-24.
- Elston, E. W., 1978, Rifting and volcanism in the New Mexico segment of the Basin and Range Province, southern U.S.A.: *in* Neuman, E. R., and Ramberg, I. B., eds., Petrol. and Geochem. of Continental Rifts., p. 79-86.
- Fries, Carl, Jr., 1962, Reseña de la geología del Estado de Sonora con énfasis en el Paleozoico: Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, v. 14, p. 257-273.
- Gastil, R. G., y Krummenacher, D., 1977, Reconnaissance geology of coastal Sonora between Puerto Lobos and Bahía Kino: Geol. Soc. America Bull., v. 88, p. 189-198.
- Gómez, P., 1971, Sobre la presencia de estratos marinos del Mioceno en el Estado de Sonora, México: México, D. F., Inst. Mex. Petróleo, Subdirección de Tecnología de Exploración, Notas técnicas, p. 77-78.
- González-León, Carlos, 1978, Geología del área de Arizpe, Sonora: Hermosillo, Univ. Sonora, tesis profesional, 66 p. (inérita).
- Hardy, L. R., 1973, The geology of an allochthonous Jurassic sequence in the Sierra de Santa Rosa, northwestern So-

- nora, Mexico: California State Univ., San Diego, M. A. thesis, 92 p. (inérita).
- Instituto de Geología, 1974, Carta geológica del Estado de Sonora: Escala 1:500,000, México, D. F., Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, escala 1:500,000 (inérita).
- Islas-López, Jaime, Bárcenas, A., y Saitz, S. O., 1978, Exploración por carbón en las regiones de San Enrique y San Marcial, Sonora: Consejo de Recursos Minerales (México), Seminario Interno sobre Exploración Geológico-Minero, 7, p. 131-147.
- Karig, D. E., y Jency, W., 1972, The protogulf of California: Earth and Plan. Sci. Let., v. 17, p. 169-174.
- King, R. E., 1939, Geological reconnaissance in northern Sierra Madre Occidental of Mexico: Geol. Soc. America Bull., v. 50, p. 1625-1722.
- McEldowney, R. C., 1970, An occurrence of Paleozoic fossils in Baja California, Mexico: Geol. Soc. America, Abstr. with Programs, v. 2, p. 117 (resumen).
- Merriam, R., e Eells, J. L., 1979, Reconnaissance geologic map of the Caborca Quadrangle, Sonora, Mexico: Univ. Sonora, Bol. Dept. Geología, v. 1, p. 87-94.
- Mullan, S. H., 1978, Evolution of part of the Nevada orogen in northwestern Mexico: Geol. Soc. America, Bull., v. 89, p. 1175-1188.
- Rangin, Claude, 1977, Sobre la presencia del Jurásico Superior con amonitas en Sonora septentrional: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, revista, v. 1, p. 1-4.
- - - 1978a, Speculative model of Mesozoic geodynamics, central Baja California to northeastern Sonora, Mexico: *in* Mesozoic Symposium II SEPM Howell and McDougall Eds., p. 85-106.
- - - 1978b, Consideraciones sobre la evolución geológica de la parte septentrional del Estado de Sonora: *in* Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G. A., eds., Libro-guía, Primer Simposio sobre la Geología y Potencial Minero en el Estado de Sonora, Hermosillo, Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, p. 35-55.
- Rangin, Claude, y Roldán-Quintana, Jaime, 1978, Preliminary report on Middle Jurassic volcanics in northern Sonora, Mexico: Soc. Geol. America, Abstr. with Programs, v. 143, p. 143 (resumen).
- Roldán-Quintana, Jaime, 1972, Estudio geológico de reconocimiento de la Hoja San Blas, en la porción septentrional del Estado de Sinaloa: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, informe y mapa, escala 1:100,000 (inérito).
- - - 1976, The geology and mineralization of the San Felipe are east-central Sonora, Mexico: Iowa, Iowa Univ., tesis de maestría, 120 p. (inérita).
- Roldán-Quintana, Jaime, y Solano, R. B., 1978, Contribución a la estratigrafía de las rocas volcánicas del Estado de Sonora: Univ. Sonora, Bol. Dept. Geol., v. 1, p. 19-26.
- Stump, T. E., y Beauvais, L., 1976, Corals, molluscs and paleogeography of Late Jurassic strata of the Cerro Pozo Serna, Sonora, Mexico: Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology, v. 1, p. 275-301.
- Summer, J. R., 1977, The Sonoran earthquake of 1887: Bull. Seism. Soc. Am., v. 67, p. 1219-1223.
- Valentine, W. G., 1936, Geology of the Cananea Mountains, Sonora, Mexico: Geol. Soc. America, Bull., v. 47, p. 53-86.