

FALLA QUITOVAC—RESULTADO DE UN EVENTO DE TRANSPRESIÓN DEL "MOJAVE-SONORA *MEGASHEAR*", NOROESTE DE SONORA, MÉXICO

Gerardo Caudillo-Sosa¹,
Luis Fernando Oviedo-Lucero¹ y
José Luis Rodríguez-Castañeda²

RESUMEN

El área de Quitovac se localiza en el noroeste de Sonora, donde afloran rocas a las cuales, por correlación, se ha atribuido edades proterozoicas, jurásicas y terciarias. Las rocas proterozoicas (gneis y esquisto) y las rocas volcánicas jurásicas representan dos conjuntos petrológicos que están separados por una falla inversa de bajo ángulo a la que se denomina "falla Quitovac" con una orientación general norte-sur y que es resultado de un evento transpresivo asociado a la evolución del Mojave-Sonora *megashear*. La zona de falla está caracterizada por esfuerzos de cizalla intensos, que han desarrollado rocas cataclásticas, milonita y plegamiento. Se infiere que el movimiento a lo largo de la falla ocurrió durante el Oxfordiano. Toda la secuencia anterior, proterozoica y jurásica, sufre intrusión en los alrededores por granitos de edad cretácico-terciaria, que han causado recristalización y en los que no se observa la deformación que afecta a las rocas precretácicas.

Palabras clave: Tectónica, Mojave-Sonora *megashear*, Sonora, México.

ABSTRACT

The Quitovac area is located in northwestern Sonora, where rocks that crop out have been assigned to the Proterozoic, Jurassic, and Tertiary by simple correlation with other areas. The Proterozoic gneiss and schist and the Jurassic volcanic rocks represent two petrologic assemblages, each one separated by a north-striking thrust fault, the Quitovac fault, probably a result of transpression along the Mojave-Sonora *megashear*. The shear zone is characterized by highly foliated and sheared rocks; many of them show milonitic fabric and folding. Movement along the thrust fault is inferred to have occurred probably during the Oxfordian. All the exposed rock assemblages are intruded by weakly to non-foliated Cretaceous-Tertiary granites which have caused a recrystallization in the pre-Cretaceous rocks.

Key words: Tectonics, Mojave-Sonora *megashear*, Sonora, Mexico.

INTRODUCCIÓN

El área de Quitovac se localiza en el noroeste del Estado de Sonora, 50 km al sur de Sonoyta (Figura 1). Aunque no hay un límite fisiográfico, el área es referida como Quitovac debido al pueblo del mismo nombre. El rasgo geológico más importante es una cabalgadura, a la cual se designa en este artículo como falla Quitovac, y se caracteriza por la formación de áreas de milonita y microestructuras asociadas, las cuales se desarrollan debido a una zona de cizalla. Se cree que el origen de esta falla sea producto de un evento transpresivo asociado a la evolución de una falla transcurrente, la megacizalla Mojave-Sonora de Anderson y Silver (1979).

La zona de falla tiene una orientación norte-sur en la parte central del área de estudio y pone en evidencia una compresión—producto de la transpresión—que da como resultado una deformación dúctil y quebradiza. La falla Quitovac separa dos dominios estructurales: hacia el oeste, una serie de rocas proterozoicas con metamorfismo, y hacia el este un paquete de rocas volcánicas jurásicas, las cuales han sido

afectadas por varios cabalgamientos, caracterizados por deformación en la zona de falla. El análisis de las propiedades físicas y geométricas de estas fallas y su interpretación tectónica, son el objetivo principal de este artículo.

Los resultados pudieran ayudar al mejor conocimiento de la tectónica y geología regional de esta parte del Estado de Sonora.

MARCO GEOLÓGICO

El área de Quitovac es una zona de falla que se encuentra en la subprovincia fisiográfica Desierto Sonorense (Raisz, 1964). Las rocas expuestas son metamórficas proterozoicas, cuyos protolitos corresponden a intrusivos graníticos, y rocas jurásicas volcánicas y sedimentarias (toba, andesita, dacita, diorita, riódacita, conglomerado y arenisca).

En los alrededores del área, hay intrusivos cretácicos y rocas volcánicas terciarias, cuyas características son muy diferentes a las anteriores. Con base en similitudes litológicas y temporales con rocas que afloran al norte y al sur del área, se considera que la deformación precretácica de las rocas mencionadas al inicio, haya sido el resultado de la megacizalla Mojave-Sonora, de Anderson y Silver (1979), que se extiende desde el valle de La Muerte-montañas Inyo, en el suroeste de Estados Unidos de América, hasta la zona más meridional en Sonora central, la región de Tuape.

¹Departamento de Geología, Universidad de Sonora, 83000 Hermosillo, Sonora, México.

²Estación Regional del Noroeste, Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Apartado Postal 1039, 83000 Hermosillo, Sonora, México.

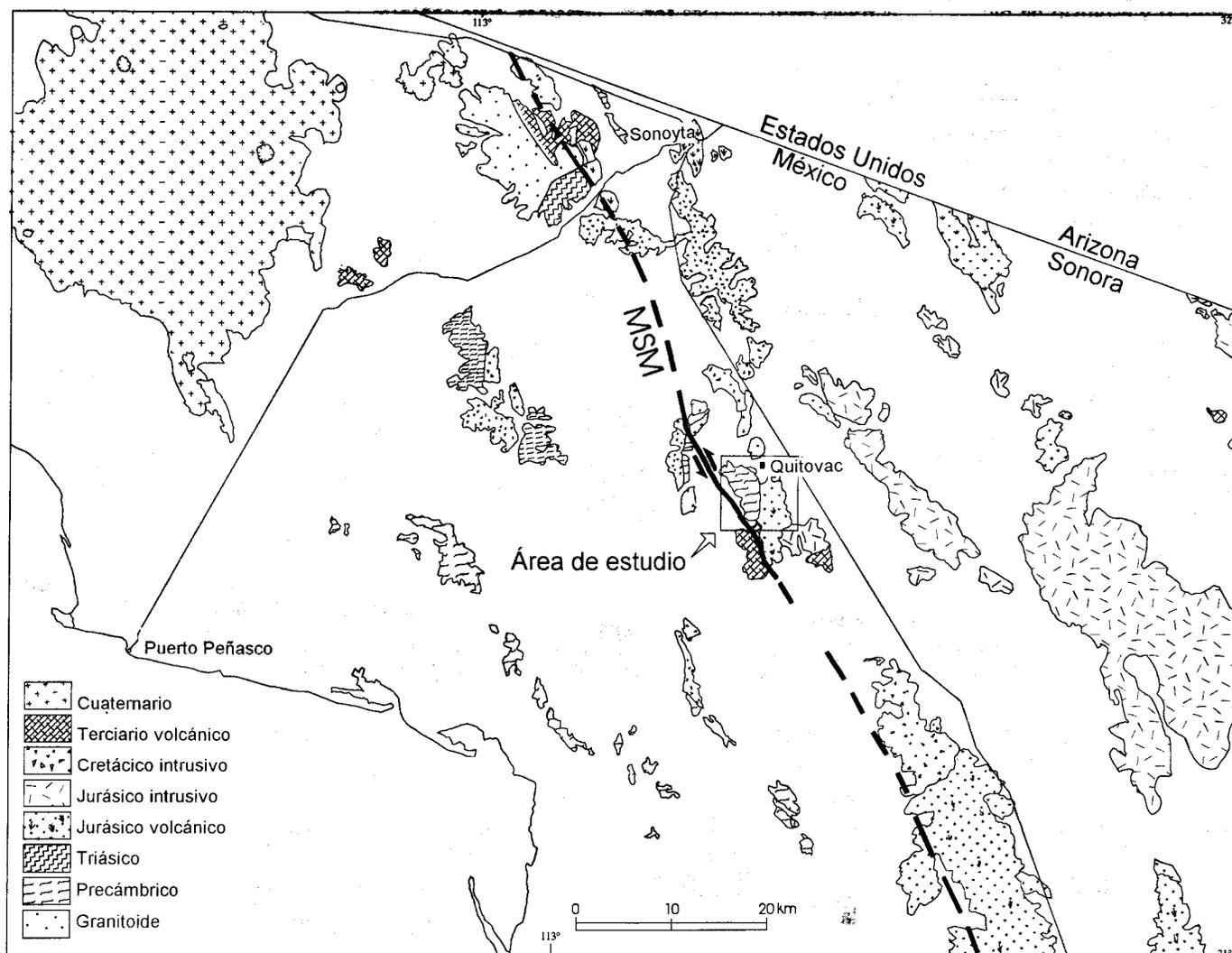


Figura 1. Mapa de localización del área de estudio. Se incluye de manera general la geología de la región. MSM = Mojave-Sonora *megashear*. Modificado de Merriam (1972).

ESTUDIOS PREVIOS

En el área de estudio, se ha realizado principalmente trabajos enfocados a la prospección minera. Merriam (1972) efectuó un estudio regional del cuadrángulo Sonoyta, donde describe rocas proterozoicas, precretácicas, cretácicas y terciarias; menciona la existencia de zonas miloníticas, y "astillas" de rocas metavolcánicas y metasedimentarias. Silberman y colegas (1988) hicieron un trabajo regional enfocado a las características de los yacimientos de oro en el noroeste del estado, diferenciando cuatro grupos de depósitos. El área de Quitovac se encuentra dentro de los yacimientos controlados estructuralmente—fallas de bajo ángulo.

Connors y colaboradores (1989) asignan una edad proterozoica para los gneises graníticos y jurásica temprano-media para las rocas volcánicas del área de estudio. Tosdal y colaboradores (1990) discuten las características tectónicas del Jurásico-Cretácico y Terciario inferior del sur de Arizona y noroeste de Sonora.

La compañía Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V., llevó a cabo trabajos de exploración minera en el área. Chris Connors, estudiante de la Universidad de Pittsburgh, hizo estudios para desarrollar una tesis de maestría del área y de otras sierras en los alrededores.

ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía propuesta para el área de Quitovac se muestra en la Lámina 1. Han sido diferenciadas ocho unidades, con base principalmente en composición, génesis y características estructurales. Los nombres que se asigna a las unidades son informales.

PROTEROZOICO

Aunque el Proterozoico del área de Quitovac muestra variaciones en la litología, en este artículo han sido agrupadas en una sola unidad. La litología está representada por ortogneis

granítico y esquisto de biotita. Estas rocas proterozoicas forman parte de la serie de rocas antiguas con edades que varían entre 1,800 y 1,700 Ma, que incluyen para- y ortogneis. Las rocas muestran variaciones en el grado de deformación, pero presentan un bandeamiento o foliación con una orientación general NE-SW (Anderson y Silver, 1981). Por otro lado, de acuerdo también con estos autores, estas rocas están restringidas al noroeste de Sonora.

El ortogneis (**pEgn**) aflora en los cerros que se encuentran al oeste del área. Hacia el sur, están cubiertos por tobas terciarias (Lámina 1). El ortogneis está constituido por cuarzo, feldespato potásico (microclina) y biotita, con textura grano-lepidoblástica. Se reconoció zonas con mayor concentración de plagioclasa, hornblenda y disminución del feldespato potásico, por lo que el ortogneis, que es de color rosa claro, varía a gris, dependiendo del contenido mineralógico. Aunque este artículo no tiene un enfoque petrológico, se puede establecer que el feldespato es relicto y la plagioclasa y hornblenda son de neoformación, lo que puede ubicarse en la facies de esquisto verde; sin embargo, trabajos regionales sitúan a estas rocas en la parte alta de la facies de anfibolita (Saúl Herrera, 1989, comunicación personal). El protolito de este gneis corresponde a un granito con variaciones a granodiorita, el cual fue sometido a metamorfismo regional de temperatura y presión moderadas. Hacia el contacto con las rocas jurásicas, el gneis muestra una deformación interna heterogénea y gradual; varía en textura desde gnéisica (textura original) sin cataclasis, hasta cataclástica protomilonítica, misma que a su vez varía a una milonita en la zona de falla que sirve de contacto entre ambos tipos de roca.

El esquisto (**pEe**) que aflora en la parte occidental del área, está asociado al gneis como un cuerpo tabular (Lámina 1). En la parte meridional aflora con una inclinación de 45° al noroeste y un espesor promedio de 60 m. En la parte septentrional, el esquisto tiene un área de exposición más extensa, debido al cambio en su inclinación. También se encuentra en áreas pequeñas aisladas dentro del gneis. El cuerpo principal del esquisto presenta una orientación general de N15°E. Desde el punto de vista petrográfico, éste corresponde a un esquisto de biotita con variaciones locales a esquisto de hornblenda, clorita y muscovita. La roca es de grano fino, estructura compacta, foliada finamente y con desarrollo de fracturas casi paralelas a la foliación. Mineralógicamente, el esquisto consiste en biotita, cuarzo y, localmente, hornblenda y muscovita, más clorita, epidota y sericita como minerales secundarios. De textura granolepidoblástica, presenta una esquistosidad perfectamente definida. En algunas de las láminas hay algunos cristales de plagioclasa(?). El esquisto está cortado por vetas y vetillas de cuarzo-turmalina y de cuarzo-muscovita, con espesores menores que 1 m. La textura relicta microdiorítica y la forma en que se presenta sugieren un protolito andesítico o basáltico en forma de dique.

Estratigráficamente, las rocas proterozoicas, en particular el gneis, están en contacto tectónico cabalgando a las rocas

jurásicas. Este contacto se cartografió en un tramo de más de 4 km en la parte central del área de estudio, y tiene un rumbo general norte-sur; en la parte meridional del área, el mismo está cubierto por depósitos aluviales del Holoceno (Lámina 1).

Estas rocas han sido asignadas al Proterozoico Temprano (edades de cristalización de 1,800-1,700 Ma, obtenidas con análisis isotópicos U/Pb en zircones; T.H. Anderson, 1984, comunicación personal; Connors *et al.*, 1989). El gneis es correlacionable con las rocas proterozoicas que afloran más al sur, en la región de Caborca, las cuales presentan una edad de metamorfismo de 1,675 Ma (Anderson y Silver, 1979). También en la región de Tuape—centro de Sonora—hay rocas graníticas de 1,700 Ma, cortadas por diques de composición diabásica (Rodríguez-Castañeda, 1984), semejantes a las que afloran en el área de Quitovac.

JURÁSICO

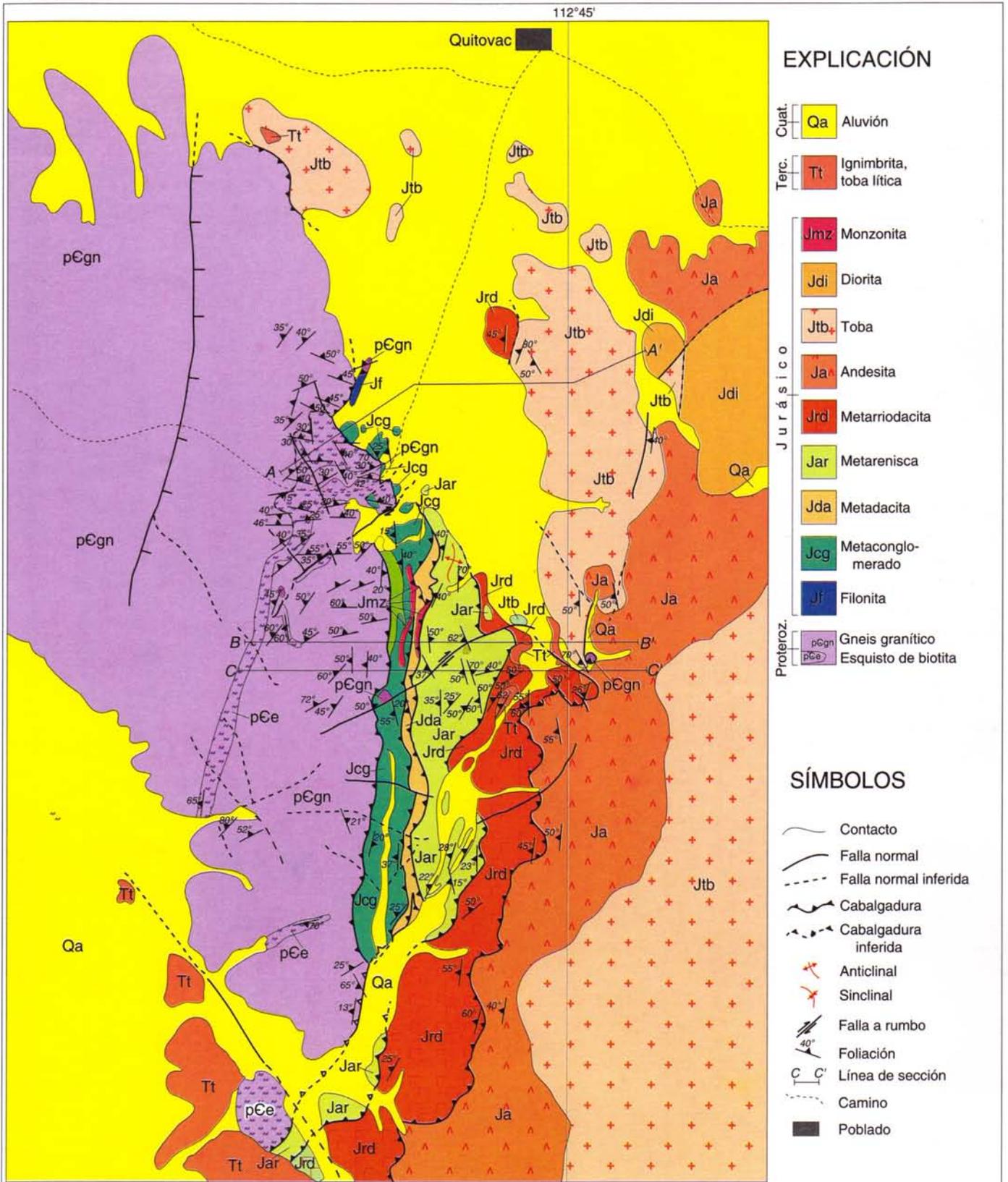
Las rocas jurásicas expuestas en el área de Quitovac pueden ser subdivididas en siete unidades litológicas. Como no se cuenta con sus edades, su descripción se hace partiendo de la falla Quitovac hacia el este, de acuerdo con la posición que guardan, lo cual no implica un orden cronoestratigráfico. La edad de todas estas rocas se discutirá después de haber hecho su descripción e indicar sus relaciones estratigráficas.

Filonita (Jf)

Esta unidad está representada principalmente por una filonita deformada intensamente, cuyos protolitos son tanto de rocas proterozoicas como jurásicas, y localmente contiene lentes filonizados de metarenisca, metaconglomerado y granito intensamente cizallados. La filonita forma un afloramiento lenticular con orientación general norte-sur en la porción centroseptentrional del área (Lámina 1), constituyendo lomeríos bajos con pendientes suaves. La foliación es prominente pero disarmónica. Hay astillas de la filonita intercaladas dentro de la secuencia metavolcánica jurásica, siendo aproximadamente de 20 m de anchura por 200 m de longitud.

La mineralogía predominante que se observa está constituida por muscovita y biotita, más granos de cuarzo muy fino, todos con una orientación preferencial. También están presentes porfidoclastos de cuarzo y feldespato potásico, plagioclasa, pirita y epidota, con una matriz compuesta de sericita, cuarzo y feldespato. Se piensa que la filonita se derive de ambos protolitos—proterozoico y jurásico—pero principalmente del proterozoico, con base en su mineralogía. Es muy suave a la erosión, formándose un valle dentro de la misma unidad (Lámina 1).

Estratigráficamente, la roca proterozoica se encuentra cabalgando a las rocas jurásicas metavolcanoclasticas, y este contacto es marcado por la filonita. El contacto de ésta en la parte meridional, es transicional con el metaconglomerado. El contacto de las astillas de filonita con las rocas jurásicas muestra una intensa zona de cizalla.



MAPA GEOL3GICO DEL 3REA DE QUITOVAC, SONORA, M3XICO

Metaconglomerado (Jcg)

El metaconglomerado, al igual que la filonita, aflora en las partes central y meridional, donde los afloramientos son más amplios (Lámina 1). El conglomerado está constituido por clastos de rocas metavolcánicas, granito, cuarcita y gneis, principalmente, incluidos en una matriz arenosa de la misma constitución que la parte gruesa, más clorita, epidota y sericita. Los clastos presentan deformación (alargamiento) y su tamaño varía desde unos milímetros hasta casi 60 cm. La forma de los fragmentos varía de subredondeada a redondeada.

El conglomerado fue afectado por metamorfismo dinámico, lo que causó la deformación de los clastos y la foliación que presenta.

El metaconglomerado está en contacto concordante y transicional con la unidad Filonita, pero se encuentra cubierto, debido a una cabalgadura, por el gneis proterozoico, como se observa en las partes septentrional y meridional de los afloramientos. Por otro lado, el metaconglomerado está cabalgando a la unidad Metadacita.

Metadacita (Jda)

La unidad Metadacita aflora en la porción central del área, en forma de cuña tectónica alargada norte-sur (Lámina 1). Petrográficamente, está constituida esencialmente por fenocristales relictos de cuarzo corroído, feldespato potásico y plagioclasa (An₂₈₋₃₂), parcialmente sericitizados en una matriz criptocristalina, constituida por material cuarzofeldespático fino alterado, que alterna con finas laminaciones de sericita. La textura es porfídica fluidal relictiva.

Esta unidad presenta deformación, siendo más evidente en los costados oriental y occidental de la unidad. La deformación está representada por cristales fracturados y rotados con estructura sigmoidal y sombras de presión. Se observa también foliación en toda la extensión de la metadacita, estando en algunos lados más desarrollada que en otros.

La metadacita está en contacto por fallas inversas, tanto con el metaconglomerado como con la metarenisca. Estas fallas se unen en los extremos meridional y septentrional del afloramiento de la metadacita.

Metarenisca (Jar)

La unidad Metarenisca aflora en la porción centro-oriental del área de estudio (Lámina 1); al igual que las unidades anteriores, presenta una forma lenticular en su afloramiento.

Como en las unidades anteriores, los contactos de la metarenisca son cabalgaduras. La metarenisca es cabalgada por la metadacita, y ésta a su vez cabalga a la metarriodacita. Al sur de su afloramiento, la metarenisca es cabalgada por el gneis proterozoico, y cubierta por la secuencia volcánica terciaria.

Metarriodacita (Jrd)

La unidad Metarriodacita (pórfido de cuarzo y feldespato) aflora principalmente en la porción centro-oriental del área de estudio (Lámina 1), formando crestones escarpados, con pendientes fuertes hacia el este y suaves hacia el oeste.

Bajo el microscopio, en la roca se observa una textura porfídica relictiva con fenocristales de cuarzo, feldespato potásico (microclina) y plagioclasa, rotados y fracturados, con estructura sigmoidal y sombras de deformación, en una matriz cuarzofeldespática con alteración sericitica. El metamorfismo que presenta es de bajo grado con alteración hidrotermal posterior (clorita en vetillas). Presenta foliación, dándole un aspecto esquistoso.

Sus relaciones de campo con las unidades adyacentes son las siguientes. Al lado occidental, es cabalgada por la metarenisca. En el flanco oriental, se encuentra cabalgando a la andesita y, en la parte septentrional del afloramiento, también está en contacto tectónico (falla inversa) con la toba.

Toba cristalina (Jtb)

Dentro de la secuencia jurásica, la toba cristalina es la que más aflora en la parte sudoriental del área de estudio (Lámina 1). La deformación de esta unidad es muy leve en comparación con las otras unidades, que muestran una intensa zona de cizalla.

En el estudio petrográfico, se pudo observar cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y, en ocasiones, fragmentos líticos dentro de una matriz cuarzofeldespática de grano fino. Localmente, la roca presenta una foliación incipiente caracterizada por cuarzo y feldespato alargados.

A medida que uno se aleja de la zona principal de cizalla, se observa que la intensidad de la deformación dúctil disminuye; así, ésta, en la unidad tobácea, no es tan notoria como en las anteriores. Sin embargo, hacia el oeste del área, hay cabalgaduras dentro de la misma unidad, en que las zonas de cizalla presentan deformación quebradiza (brechas tectónicas), como se aprecia en los arroyos principales.

La andesita cubre a la unidad Toba cristalina concordantemente, tanto en el norte como en el sur. En la parte septentrional, la toba se encuentra cubierta por depósitos cuaternarios no consolidados. En una pequeña loma, localizada 2 km al sur de Quitovac, la toba es cabalgada por la metarriodacita, observándose en la zona de cizalla una intensa deformación similar a las descritas anteriormente en los contactos entre las otras unidades. En la parte noroccidental del área, la roca proterozoica cabalga a la unidad Toba.

Andesita (Ja)

Al igual que la unidad Toba, la unidad Andesita es una de las de mayor afloramiento, principalmente en la porción centro-occidental del área de estudio (Lámina 1).

Mineralógicamente, la unidad está compuesta por plagioclasa, cuarzo escaso y epidota, clorita, sericita y calcita. La textura varía de porfídica a semiesquistosa.

La intensidad de la deformación que presenta va disminuyendo de oeste a este, a medida que uno se aleja del contacto por falla con la metarriodacita.

Su relación con la toba parece ser concordante, ya que se encuentra yaciendo sobre ella. Al sur, la andesita está cubierta discordantemente por rocas volcánicas terciarias.

Diorita (Jdi)

La unidad Diorita se encuentra bien expuesta en la parte nororiental del área de estudio, aun cuando también se observa cortando a la mayoría de las unidades en forma de dique.

La roca presenta textura fanerítica, de grano grueso en el cuerpo mayor y textura afanítica en los diques. Petrográficamente, presenta plagioclasa (An₅₀), feldespato potásico y, en menor cantidad, cuarzo. Es notable la alteración que presenta, por lo que la matriz está compuesta por sericita, calcita y epidota. Los cristales de plagioclasa y feldespato potásico son reemplazados por minerales semejantes a los de la matriz. Las vetillas de epidota, clorita y calcita evidencian una actividad hidrotermal posterior.

Esta roca intrusiva hipabisal afecta a la roca proterozoica y a la secuencia volcánica jurásica. Además, presenta zonas de deformación restringidas.

Debe considerarse que la diorita, con un incremento en el contenido de feldespato potásico, gradúa a monzonita, por lo que es posible que esta última y la diorita sean un mismo cuerpo.

Monzonita (Jmz)

La unidad Monzonita aflora en la parte central del área, en forma de un cuerpo tabular, formando crestones escarpados que sobresalen en el terreno.

La composición mineralógica de esta unidad consiste en plagioclasa, cuarzo escaso, feldespato potásico y epidota, conformando una textura porfídica relictiva. La matriz está formada por cuarzo, feldespato y, en menor proporción, sericita. Los minerales se presentan alineados, fracturados e, incluso, plegados (*kink*).

La monzonita se encuentra emplazada tanto en el metaconglomerado como en la metadacita, y muestra una deformación muy similar a la de las rocas encajonantes, por lo que debió emplazarse antes del período de deformación. Se cree que sea un dique monzonítico que sufriera metamorfismo de bajo grado.

Edad de la secuencia volcánica y plutónica

Las características de este grupo hacen suponer que sus unidades sean parte de un mismo conjunto de rocas volcánicas

calcialcalinas. Desde el Jurásico Temprano-Triásico Tardío (Anderson y Silver, 1979; Haxel *et al.*, 1984; Tosdal *et al.*, 1989), se consigna la existencia de un arco magmático en la margen occidental de América del Norte, desde Alaska, en el norte del continente, hasta el noroeste de México (Sonora). El magmatismo jurásico en Sonora fue reconocido y fechado por métodos isotópicos por varios autores (Damon *et al.*, 1961; Damon *et al.*, 1962; Damon *et al.*, 1968; Anderson *et al.*, 1969; Anderson y Silver, 1974, 1978, 1979; Damon *et al.*, 1984; Tosdal *et al.*, 1989). La secuencia volcánica de Quitovac es correlacionable con rocas volcánicas de áreas aledañas, como las que afloran a pocos kilómetros al noroeste del área en la sierra de La Silla, las cuales sufren la intrusión de un granito cretácico, y que dieron edades (U/Pb) de 160 Ma. También las rocas volcánicas de Quitovac son correlacionables con rocas del área del rancho San Javier (50 km al sur del área del estudio), de donde un pórfido de cuarzo dio una edad (U/Pb) de 160 Ma. Las rocas volcánicas de Quitovac son parte de la serie volcánica, con edades isotópicas que varían de 180 a 160 Ma (Anderson y Silver, 1979; T.H. Anderson, 1989, comunicación personal).

La monzonita, como la diorita, es parte del grupo de plutones epizonales y mesozonales que varían de monzodioritas a granitos, pero donde los grandes plutones porfídicos cuarzomonzoníticos son los más comunes. La edad de emplazamiento de estos intrusivos es de entre 150 y 170 Ma, y algunas veces durante éste fueron acompañados por alguna de las rocas volcánicas (Anderson y Silver, 1979; Drewes, 1991). Se deduce claramente que la monzonita fue emplazada antes de la deformación, ya que presenta características similares (foliación entre otras) a las de la secuencia metamórfica, tanto proterozoica como jurásica. Por otro lado, la diorita puede ser parte de los intrusivos jurásicos que son descritos en los alrededores (Connors *et al.*, 1989). Así, con base en las relaciones de campo, y con cierta reserva, ambas rocas son consideradas parte del conjunto de rocas volcánicas.

TERCIARIO

Las rocas volcánicas terciarias están constituidas por piroclastos de composición félsica. Estas rocas tienen su mayor afloramiento en el sur del área de estudio, aunque se les encuentra en varios lugares de la zona.

La secuencia está compuesta por tobas líticas que muestran variaciones mineralógicas y texturales. Los minerales principales son cuarzo, plagioclasa y biotita, con fragmentos de roca en una matriz microcristalina vítrea. Localmente, presenta horizontes y lentes de obsidiana e intercalaciones de toba lítica, arenisca tobácea, aglomerado e ignimbrita.

Estas rocas terciarias yacen en discordancia sobre las unidades proterozoicas y jurásicas, aunque también se les ve en contacto por falla con el gneis proterozoico.

La edad probable de este material volcánico es oligocénico-miocénico.

GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

COMPONENTES ESTRUCTURALES

El mapa geológico del área de Quitovac muestra rocas precretácicas deformadas. El estudio nos revela que al menos dos eventos distintos de deformación han contribuido para la morfología actual del área: (1) fallamiento inverso de bajo ángulo, como resultado de movimientos transpresivos asociados a la evolución de la megacizalla Mojave-Sonora; y (2) fallamiento normal, producto de la deformación Sierras y Valles (*Basin and Range*).

En el área de Quitovac, los elementos estructurales más importantes son cabalgaduras y pliegues asociados, foliación y alineación. Los episodios de fallamiento normal, fallamiento de desplazamiento lateral y acortamiento de la corteza, han ocurrido a través de la evolución de la región que se encuentra alrededor del área de estudio (Silver y Anderson, 1974, 1983).

Las rocas más antiguas autóctonas son volcánicas y sedimentarias jurásicas, mientras que las rocas cristalinas proterozoicas que afloran en el área de estudio son alóctonas, formando parte del bloque Caborca de Anderson y Silver (1979).

Las estructuras más jóvenes reconocidas en el área de Quitovac son fallas normales.

Fallas de cabalgadura

Las estructuras que predominan son cabalgaduras con una orientación general norte-sur, las cuales están restringidas a las litologías precretácicas (Lámina 2).

Falla Quitovac. La mayor discontinuidad tectónica, nombrada en este estudio "falla Quitovac", aflora al menos en una distancia de 5 km, con una orientación general norte-sur en la parte central del área; pone en contacto al gneis proterozoico sobre las rocas sedimentarias y volcánicas jurásicas. En la superficie, esta falla tiene una inclinación de 60° a 70° hacia el oeste; sin embargo, a profundidad se vuelve horizontal, presentando plegamiento suave (datos obtenidos de sondeos en los alrededores del tajo San Cristóbal, información proporcionada por la compañía Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V.; J. López-Ceniceros, 1989, comunicación verbal).

El plano de la falla es muy notorio y está representado por una zona de cizalla, en que se presenta la filonita intensamente deformada, principalmente en la parte septentrional. No obstante, en la mayor parte de su extensión la falla Quitovac está comúnmente expresada por una zona de gneis proterozoico y conglomerado jurásico intensamente foliados y milonitizados. Lejos de esta discontinuidad, las rocas están poco deformadas, con una débil foliación en algunos casos, y brechamiento en otros. Lo anterior puede ser observado principalmente en la unidad Toba del Jurásico, donde la roca, en general, no presenta foliación, pero sí zonas de

brechamiento. La falla Quitovac fue interpretada por Connors y colaboradores (1989) como expresión de la tectónica mesozoica vertical.

Las otras cabalgaduras que afectan únicamente a rocas jurásicas, presentan características semejantes a las de la falla principal. Los planos de falla son curvoplanares, en los que el desarrollo de milonitas es común. Sin embargo, también están presentes zonas cataclásticas, que indican un comportamiento quebradizo. Estas fallas, con la falla Quitovac, forman un sistema imbricado de cabalgaduras, en el que las rocas muestran una fábrica tectónica variada.

Otro rasgo importante dentro de estas cabalgaduras es la presencia de dos "astillas" que afloran a lo largo del arroyo principal, en el centro del área, con longitudes de 100 a 200 m, y una anchura de 20 m. La litología principal de las astillas es el gneis proterozoico milonitizado, semejante al que aflora en el tajo San Cristóbal (parte centroseptentrional del área de estudio).

Los contactos de estas astillas con las rocas volcánicas circundantes son cabalgamientos. Es difícil establecer la cantidad de desplazamiento que ha ocurrido. Hay pequeños remanentes tectónicos del gneis proterozoico encima de rocas jurásicas.

El estilo de deformación observado en la zona de falla es dúctil y frágil. Se observa las zonas dúctiles en el contacto Proterozoico-Jurásico, representado por milonitas e intensas zonas de cizalla. En las rocas volcánicas principalmente, las zonas son cataclásticas o quebradizas. Se puede considerar que las zonas dúctiles de la deformación se formaron en un tiempo diferente que las condiciones quebradizas, lo que pudiera preo post-fechar la o las deformaciones. También puede ser que ambas ocurrieran al mismo tiempo, lo cual se piensa sucedió en este caso, pero a profundidad y distancia diferentes. Así, las fallas con zona de cizalla intensa (deformación dúctil), son manifestaciones superficiales de una estructura de transpresión, generadas arriba de una falla profunda, es decir, cerca del núcleo de la deformación; mientras que las zonas de deformación más quebradiza están a lo largo de los márgenes distales de ese núcleo. Las dos zonas exhiben continuidad genética y física de una a la otra. Mientras que la parte frontal de la falla principal es comúnmente lineal (Lámina 1), las otras tienen una forma lobulada, lo que refleja una más rápida propagación de la parte central del campo de esfuerzos, donde la fortaleza de la roca o el sepultamiento cambia con mayor rapidez que en las partes laterales o alejadas.

Otras fallas presentes son de desplazamiento lateral, con una orientación general NE-SO y con desplazamiento sinistrotro, tal vez asociadas al evento compresivo que dio origen a las cabalgaduras. Estas fallas en la parte central del área afectan tanto a rocas proterozoicas como a jurásicas. También están presentes fallas normales con rumbo noroeste que afectan a todas las rocas. Este evento se asocia al fallamiento normal de Sierras y Valles, expuesto ampliamente en todo el Estado de Sonora.

Foliación

La foliación es, en general, paralela a los contactos entre unidades, los cuales, como se mencionó anteriormente, son tectónicos. Aunque la foliación milonítica es más evidente en las zonas de cabalgamiento, se puede observar que la intensidad decrece al alejarse de éstas. También la orientación varía, dependiendo de que se localice en las rocas proterozoicas o jurásicas.

La foliación que se muestra en los contactos de las fallas, exhibe una respuesta dúctil a la deformación, mientras que la foliación en las rocas jurásicas, principalmente las unidades Toba y Meta-andesita, exhibe un carácter más quebradizo (*cleavage*).

El gneis proterozoico presenta foliación con un rumbo promedio de $N70^{\circ}E$, e inclinación de 25 a 75° hacia el noroeste (Figura 2). En el norte del área, la roca presenta textura cataclástica, encontrándose foliación en zonas locales. En el sur, la foliación en los esquistos tiene un rumbo de $N10^{\circ}E$; mientras que en el norte, la foliación en los mismos esquistos tiene una orientación $N75^{\circ}E$ con inclinaciones entre 15 y 60° , principalmente hacia el noroeste (Figura 3).

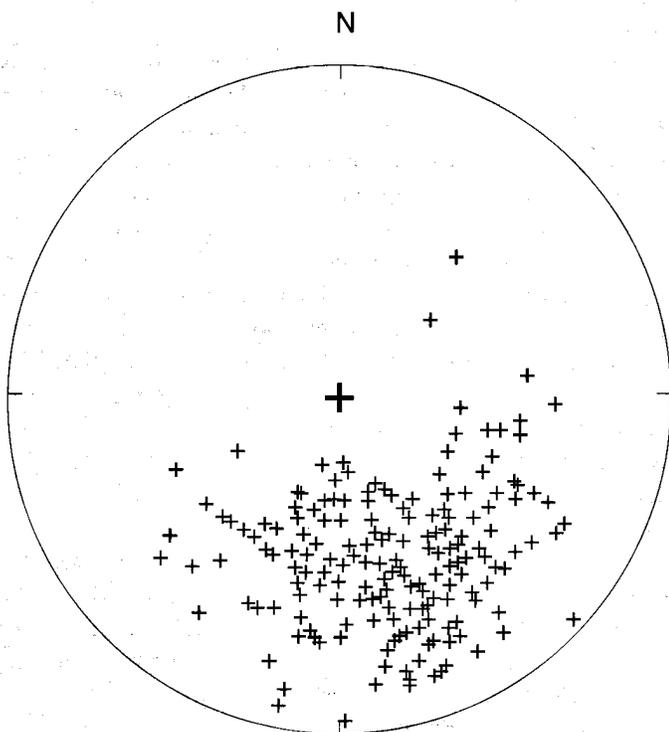


Figura 2. Proyección estereográfica de igual área (red de Schmidt), en el hemisferio inferior de polos de la foliación en el gneis proterozoico (221 medidas).

La foliación en las rocas jurásicas es aproximadamente paralela a las cabalgaduras; tiene un rumbo promedio norte-sur con inclinaciones variables entre los 25 y 85° , tanto al este como al oeste y suroeste (Figura 4). Como ya se mencionó, la foliación en este conjunto de rocas es más obvia en la cercanía de las fallas y menos notoria al alejarse de ellas.

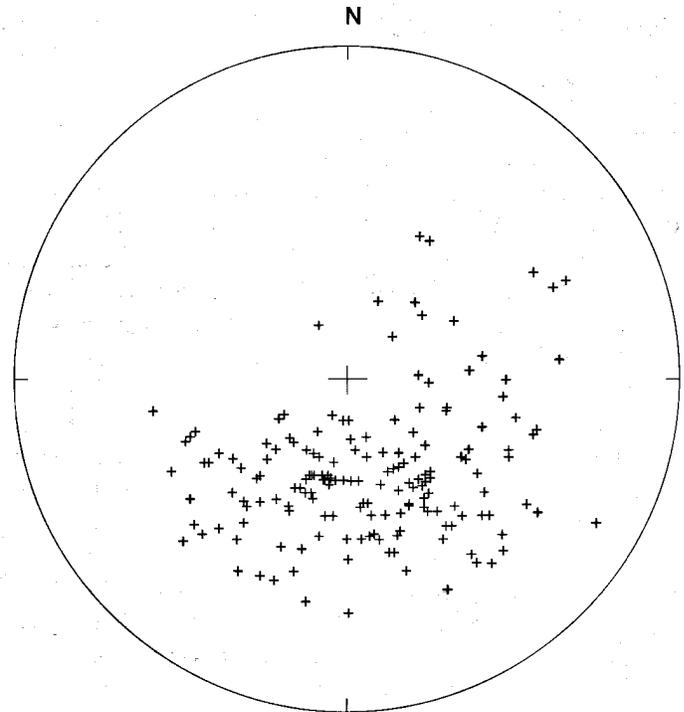


Figura 3. Proyecciones estereográficas de igual área (red de Schmidt), en el hemisferio inferior de polos de la foliación en el esquisto proterozoico (179 medidas).

A lo largo de la traza de la falla Quitovac, los rumbos de la foliación están orientados principalmente noreste y noroeste, con inclinaciones que varían entre los 15 y 70° hacia el oeste y este (Figura 5).

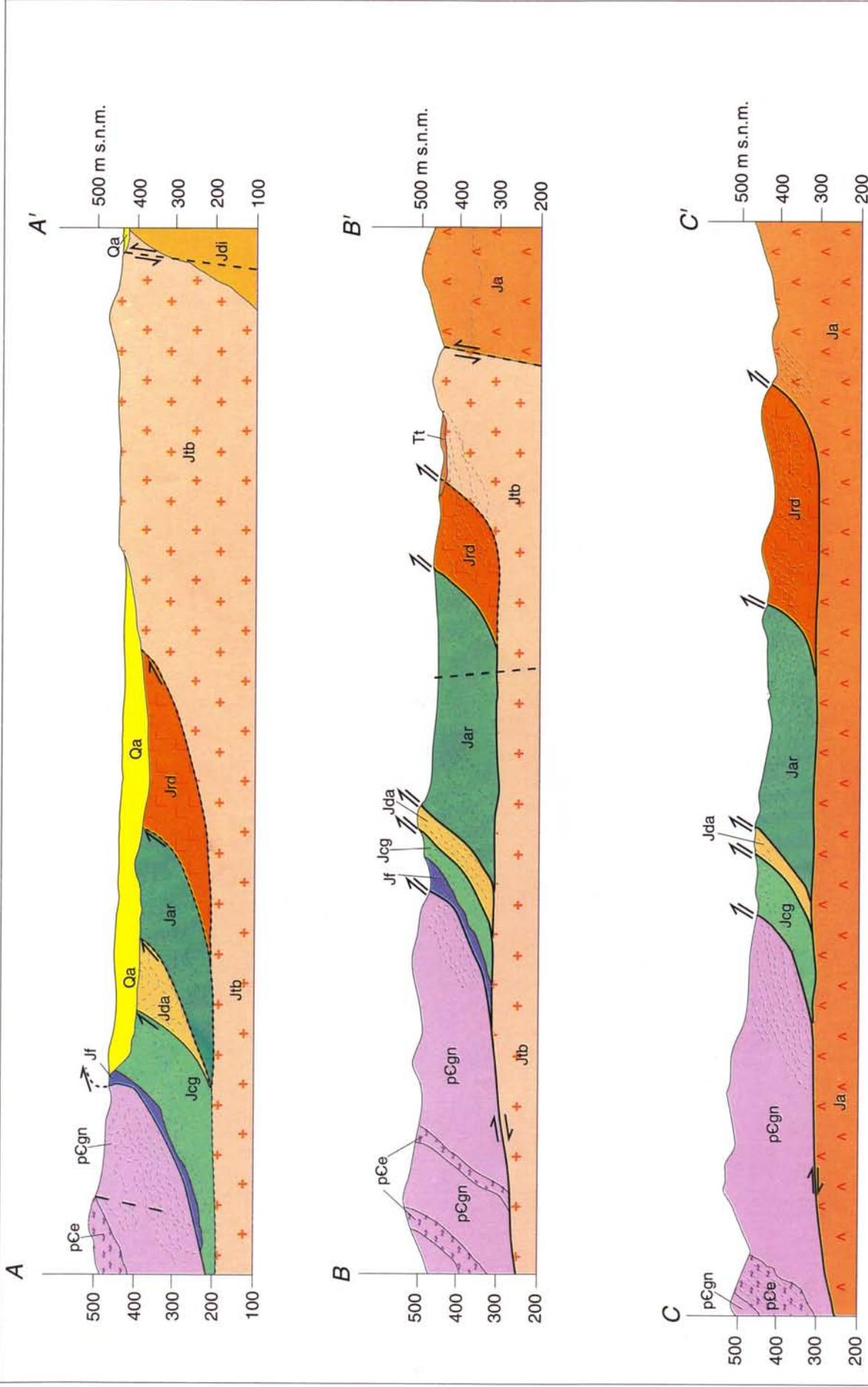
Las Figuras 6 y 7 muestran los contornos de densidades de la foliación observada en las rocas proterozoicas y jurásicas, respectivamente, del área de estudio.

En lo que respecta a la alineación, ésta se encuentra bien desarrollada en las rocas jurásicas metavolcánicas y se orienta e inclina hacia el oeste-suroeste (Figura 4). La alineación en las unidades proterozoicas está desarrollada pobremente.

Pliegues

Los pliegues, de tamaño mesoscópico, están genéticamente ligados a las zonas de falla de las cabalgaduras mayores que existen en el área de estudio. Muchos pliegues son isoclinales con ejes inclinados hacia el noroeste, como se observa, tanto en las rocas proterozoicas como en las jurásicas. En la zona del tajo San Cristóbal, parte central del área, hay pliegues disarmónicos afectando a los esquistos (Figura 8), y más al sur, se les aprecia afectando a la metarenisca.

También se observa crenulaciones y micropliegues. Este tipo de plegamiento es característico en el esquisto y en la filonita jurásica. En el esquisto se ve micropliegues del tipo *chevron* deformando a bandas de cuarzo y micas. Las crenulaciones son típicas del esquisto de cuarzo-muscovita al norte del tajo. También hay pliegues ptigmáticos en los esquistos. En la filonita, son comunes micropliegues y crenulaciones en



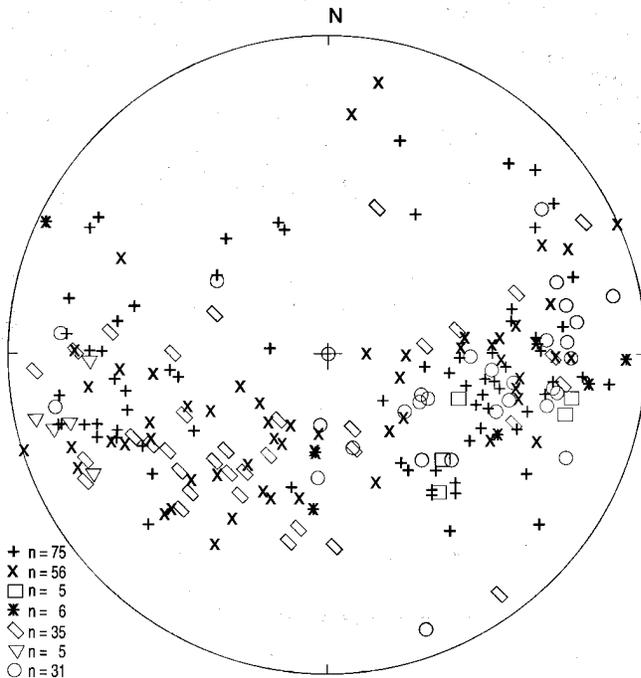


Figura 4. Proyección estereográfica de polos de foliación en la red de Schmidt de las rocas volcánicas y sedimentarias jurásicas (213 medidas). Equis = conglomerado; o = metadacita; asterisco = diorita; cuadro = metamonzonita; cruz = metarenisca; diamante = filonita; triángulo = alineación.

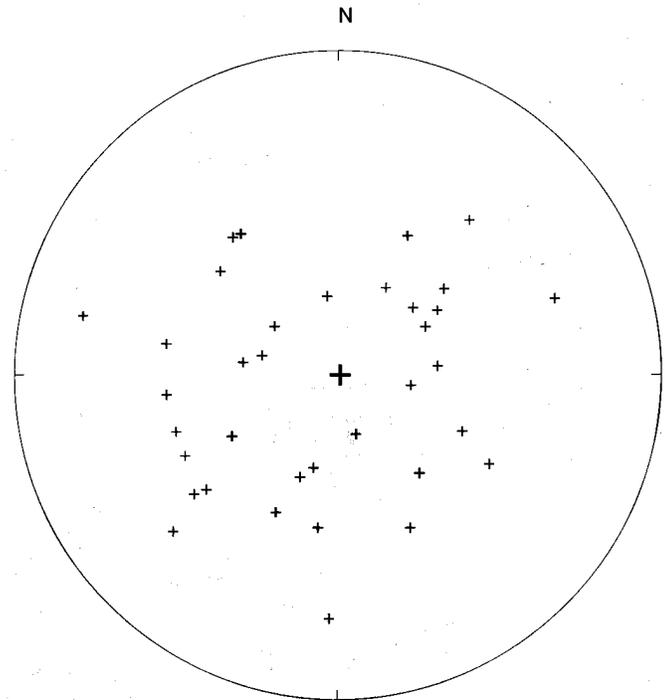


Figura 5. Proyección estereográfica de polos de foliación en el hemisferio inferior de la red de Schmidt, en la zona de cizalla de la falla Quitovac, tanto de las rocas proterozoicas como jurásicas (36 medidas).

las cercanías de la falla Quitovac. En reportes de sondeos efectuados por la compañía Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V., se describe que este tipo de plegamiento persiste a profundidad sobre la traza de la cabalgadura proterozoico-jurásica.

La relación entre pliegues y fallas de bajo ángulo permite determinar la dirección de cabalgamiento. La mayoría de los pliegues que fueron medidos tiene planos axiales orientados hacia el noroeste con buzamiento variable, pero principalmente hacia el suroeste, indicando que el transporte tectónico fue hacia el noreste.

En la parte centro-oriental del área, en las unidades Metarenisca y Metarriodacita, se ha inferido la presencia de anticlinales y sinclinales, con base en los rumbos e inclinaciones de la foliación. La orientación de estos pliegues es nortesur y noroeste-sureste. Este tipo de estructura también se observa en las rocas proterozoicas.

Los procesos tectónicos y mecanismos que están presentes en el área de Quitovac, así como su correlación, son resumidos en la Tabla 1.

Se sabe que el Mesozoico de Sonora está caracterizado por un arco magmático del Jurásico Medio-Tardío, de composición calcialcalina, que fue reconocido al menos en 16 localidades en el norte de Sonora y que muestra un estilo distintivo de deformación (Rodríguez-Castañeda, 1989).

Esta deformación está representada por numerosos grupos de roca, que forman placas subhorizontales alóctonas y autóctonas, limitados por zonas de cizalla que varía de unos cuantos centímetros hasta decenas de metros de espesor. Las

rocas incompetentes muestran un plegamiento muy apretado (pliegues isoclinales), en el que es común la foliación y alineación.

Se tiene entonces que la secuencia estructural jurásica en el área de estudio está limitada, hacia el oeste, por una falla (la megacizalla Mojave-Sonora, fuera del área de estudio), a lo largo de la cual un desplazamiento lateral izquierdo ha sido inferido, y que probablemente ocurrió en el Jurásico Medio-Tardío (Calloviano-Oxfordiano) (Anderson y Silver, 1979), aunque Rodríguez-Castañeda (1984) sugiere que los efectos de tal falla se prolongaron, al menos, hasta el Kimeridgiano. La falla, mediante mecanismos de transpresión, pone normalmente rocas proterozoicas sobre rocas jurásicas, volcánicas y sedimentarias.

El límite de esta deformación no está muy bien establecido, pero sí está claro que los abundantes plutones cretácicos que hay en los alrededores no registran alguna evidencia relacionada con la deformación antes mencionada. Así, se tiene que inicialmente había un régimen tectónico compresivo (el arco jurásico), después una tectónica transcurrente y, por último, los granitos cretácicos y volcánicos terciarios que indican la presencia de un arco magmático, cuyo origen insinúa una tectónica de convergencia hasta, al menos, el Oligoceno tardío.

No se ha reconocido en el área de Quitovac episodios de deformación como los descritos por Haxel y otros (1984) y Nourse (1989, 1990).

Las fallas terciarias, aunque presentes en el área, no están muy desarrolladas, como en el este del estado. Su orientación NO-SE es típica y generalmente atribuible a la tectónica extensiva que dio origen a la Provincia de Sierras y Valles.

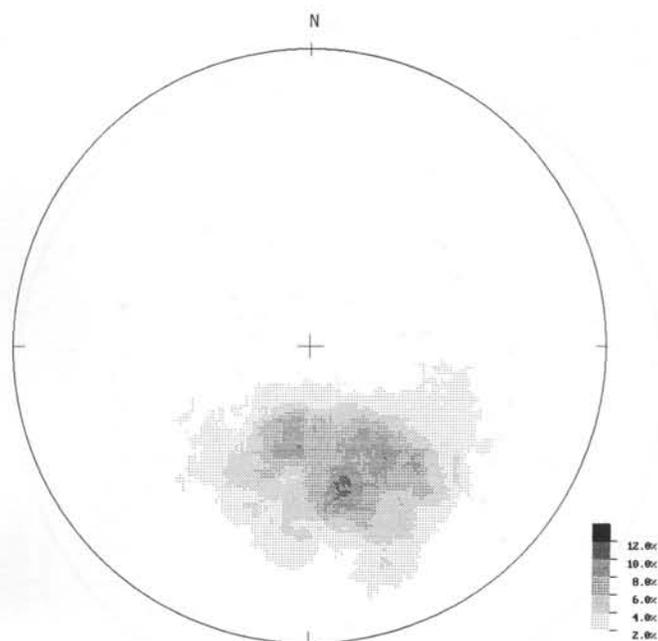


Figura 6. Diagrama que muestra el contorno de densidades de la foliación en las rocas proterozoicas. Los contornos para la foliación (400 medidas) son de 2, 4, 6, 8 y 10% por 1% de área. La orientación promedio de la foliación es de aproximadamente N55°E con 50°NW. Los datos son de áreas representadas en las Figuras 5 y 6.

En general, el estilo de deformación que se caracterizó en el área de estudio, como es la foliación en las rocas proterozoicas y jurásicas, la cual tiene una orientación promedio norte-sur e inclinación tanto al oeste como el este, se ha interpretado como debido a efectos transpresivos, lo cual también atestiguan las astillas del basamento cristalino de la me-

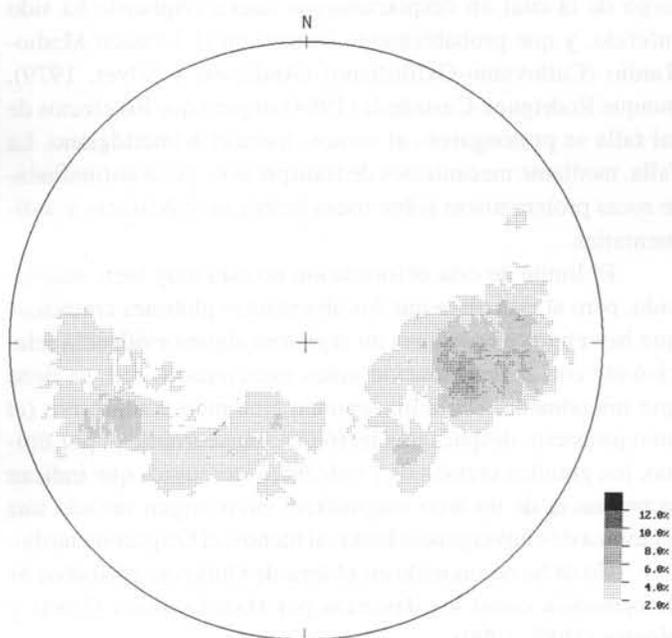


Figura 7. Proyección estereográfica que contiene el contorno de densidades de la foliación en las rocas volcánicas jurásicas. Las curvas de contorno en la foliación de 2, 4, 6 y 8%, por 1% de área (208 medidas). La orientación promedio es norte-sur con variaciones de 14 al este y 22 al oeste, e inclinaciones de 45°NW y 23°NE, respectivamente.

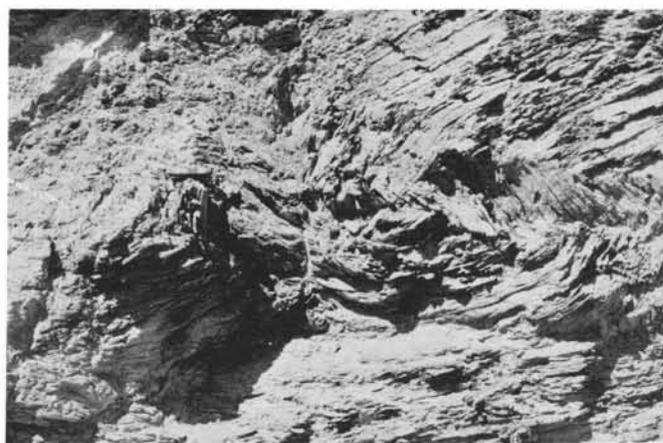


Figura 8. Pliegues en el esquistos proterozoico en la parte septentrional del área. Este plegamiento es característico en la zona de cizalla de la falla Quitovac.

gacizalla Mojave-Sonora (Anderson y Silver, 1979). Debe considerarse que la interpretación anterior también se puede obtener con una tectónica compresiva. Sin embargo, la primera interpretación es más consistente con la geología regional del noroeste de Sonora. La zonas de cizalla son compatibles con la idea de fallamiento transcurrente.

Hacia el norte (suroeste de Sonoyta), la megacizalla tiene un rumbo noroeste y está expuesta como una zona vertical de milonitas de varios metros de espesor, que pone en contacto rocas graníticas proterozoicas y rocas volcánicas y volcanoclásticas jurásicas (Tosdal *et al.*, 1990).

Mención aparte merecen las rocas proterozoicas, las cuales muestran una foliación primaria con orientación diferente (Figuras 2 y 3) de la que se observa en la zona de la falla Quitovac. Esta diferencia en foliación sugiere que el metamorfismo en las rocas proterozoicas es resultado de un evento más antiguo (Proterozoico) y que no tiene relación con la deformación que se discute en este artículo, que se supone sea mesozoica, es decir, el metamorfismo en las rocas proterozoicas sugiere que no está relacionado con los procesos que acompañaron al desplazamiento de la falla Quitovac. Las rocas proterozoicas en sí tienen una relación más estrecha con la evolución del cratón precámbrico de América del Norte.

CONTEXTO REGIONAL DE LAS ESTRUCTURAS

La estructura y el estilo tectónico de la deformación del Jurásico Medio-Tardío en el noroeste de Sonora parecen estar dominados por la falla transcurrente megacizalla Mojave-Sonora del Jurásico Tardío que yuxtapone dos bloques tectónicos con características diferentes, el bloque Caborca (Campa y Coney, 1983) y el terreno Pápago (Haxel *et al.*, 1980). La diferencia principal de más importancia entre los bloques mencionados es que en el Caborca las rocas corresponden al basamento proterozoico (1,700-1,800 Ma); mientras que en el Pápago las rocas más antiguas, volcánicas, son asignadas al Jurásico Temprano (170-180 Ma) y significativamente nunca han sido descritas rocas proterozoicas. Hay pequeños cuerpos

Tabla 1. Tabla comparativa de eventos de deformación local y regional.

Evento	Edad	Localización	Características
Orogenia Nevadiana	Jurásico Tardío-Cretácico Temprano	Sonora: Cucurpe-Sinoquipe (Rangin, 1977, 1978, 1982)	Rocas plegadas (pliegues isoclinales) con ejes orientados NNO-SSE. Las rocas volcánicas y volcanoclásticas presentan un ligero metamorfismo de bajo grado (facies esquistos verde); los fósiles de las intercalaciones clásticas son del Oxfordiano. Las secuencias jurásicas están cubiertas en discordancia angular por rocas del Cretácico Inferior
Mojave-Sonora <i>Megashear</i> (regional)	Jurásico Medio-Jurásico Tardío	California: Montañas Inyo; Sonora: Sonoyta, Quitovac, Tajitos, Sierra La Gloria, Cerro Basura y Tuape, entre otras localidades (Anderson y Silver, 1979; Corona, 1979, 1980; Rodríguez-Castañeda, 1984)	Falla transcurrente izquierda con rumbo general NO-SE. Esta falla yuxtapone el basamento cristalino proterozoico en contra del arco magmático jurásico. Las rocas volcánicas están fuertemente deformadas a lo largo de cabalgaduras. Rocas sedimentarias han sido plegadas con ejes orientados al NO. Asociados a esta falla existen movimientos transpresivos que causan cabalgaduras con transporte hacia el N y NE. Este evento afecta a rocas volcánicas y volcanoclásticas del Jurásico; rocas cretácicas y terciarias son importantes ya que algunas de ellas las cortan y cubren, respectivamente, por lo tanto post-fechan la deformación
<i>Metamorphic Core Complex</i>	Cretácico Temprano-Terciario	Sierra de Magdalena, Mazatán, Cerro Camero y NE Altar (Nourse, 1990)	Falla normal de bajo ángulo (<i>Magdalena detachment fault</i>) con inclinación hacia el sur y sudoeste. Las rocas implicadas en este fallamiento varían en edad del Proterozoico al Terciario (Mioceno). Se presentan dos niveles estructurales. El más profundo presenta foliaciones de 25 a 35° y el más somero, foliaciones entre 6 y 26°. Esta deformación es resultado de perturbación termal y posterior colapso gravitacional durante el Mioceno. Metamorfismo de facies esquistos verde-anfibolita
Deformación en Arizona centromeridional	Cretácico Tardío-Terciario	Región centromeridional de Arizona (Haxel <i>et al.</i> , 1984)	Cabalgamiento, metamorfismo y plutonismo. La dirección de movimiento a lo largo de las cabalgaduras fue tanto al NE como al SO. El metamorfismo corresponde a la facies esquistos verde. El plutonismo es sin- y postmetamorfismo. La foliación presente tiene un promedio de 45° hacia el SO y NO; la lineación está inclinada hacia el N y SO. Pliegues <i>kink</i> y crenulaciones tienen ejes hacia el O y NO. Estas características de deformación están asociadas al "Cinturón Metamórfico Cordillerano"
Cinturón Orogénico Cordillerano	Jurásico Tardío-Eoceno	Segmento Las Vegas, Nevada-El Paso, Texas (Drewes, 1991).	Cabalgamiento y plegamiento. <i>Zona de pliegues y cabalgaduras (norte de Chihuahua)</i> : Grandes pliegues orientados N45-50°O ligeramente inclinados hacia el sudoeste, genéticamente asociados a las cabalgaduras y fallas de rompimiento. Las cabalgaduras presentan un rumbo noroeste con transporte tectónico al noreste. <i>Zona intermedia (sudoeste de Nuevo México y sur de Arizona)</i> : Los pliegues inclinados al NE son más pequeños y apretados, asociados a las cabalgaduras, las cuales son más abundantes. La deformación es un poco más antigua y más complicada que la zona anterior, sobretodo hacia la parte occidental de la zona. <i>Zona interior (sudoeste de Arizona-sudeste de California)</i> : Pliegues recumbentes, numerosas cabalgaduras paralelas a la estratificación. Un área de rocas metasedimentarias y metaígneas que presentan deformación dúctil. Localmente, estas rocas están arqueadas hacia arriba por influencia de los <i>metamorphic core complex</i>
Mojave-Sonora <i>Megashear</i> (local)	Jurásico Medio-Jurásico Tardío	Quitovac (área de estudio)	Fallas de cabalgadura con transporte al este, plegamiento genéticamente ligado a las fallas con ejes norte-sur y noroeste-sudeste. Foliación con inclinaciones mayores que 40°. La foliación en la secuencia jurásica presenta una orientación generalizada norte-sur, y en la secuencia proterozoica NE-SO. Las rocas implicadas en la deformación principal son proterozoicas y jurásicas. Ambas secuencias presentan metamorfismo, el Proterozoico de facies esquistos verde-anfibolita, y el Jurásico de facies esquistos verde o menor. Intrusivos terciarios en los alrededores no se encuentran deformados

de estas rocas proterozoicas, pero son alóctonos (Rodríguez-Castañeda y García-Barragán, 1994). Sin embargo, la deformación propuesta tiene similitud con la deformación (Cretácico Tardío-Paleógeno) que presenta el Cinturón Orogénico Cordillerano (Drewes, 1991). Esta deformación, conocida como Orogenia Laramide, causa acortamiento de la corteza en respuesta a esfuerzos compresivos, estos últimos ligados a procesos de subducción a lo largo del margen continental. No obstante, parece que en el sur de Arizona se tendría la superposición de dos regímenes tectónicos: compresión y acortamiento, seguidos por un régimen termal (Haxel *et al.*, 1984). Las cabalgaduras en el sur de Arizona, en las que están implicadas rocas jurásicas y precámbricas(?), tal vez sean contemporáneas a las que existen en el noroeste de Sonora, modificadas posteriormente por un evento terciario con características térmicas, el *metamorphic core complex*.

Se puede observar que las cabalgaduras en el noroeste de Sonora involucran solamente a las rocas proterozoicas y jurásicas, y que no están afectadas las rocas más jóvenes. La reactivación de estas cabalgaduras pudo haber ocurrido durante el Cretácico o Terciario.

La presencia simultánea de vulcanismo, plutonismo y metamorfismo da lugar a que la identificación de estructuras sea difícil, conduciendo a una diversidad de interpretaciones en edad y número de los eventos de deformación. No obstante, se cree que las zonas de cizalla en el área de estudio sean parte de los afloramientos de la megacizalla Mojave-Sonora, y que a su vez representen el límite entre el bloque Caborca y el terreno Pápago, este último parte del cratón de América del Norte.

CONCLUSIONES

La geología del área de Quitovac refleja al menos dos períodos de tectonismo, uno de ellos caracterizado por transpresión a lo largo de la megacizalla Mojave-Sonora de Anderson y Silver (1979), la cual desarrolla zonas de cizalla en rocas jurásicas y proterozoicas (la falla Quitovac y las otras cabalgaduras). La ausencia de cizalla en otras rocas mesozoicas y proterozoicas, y de efectos térmicos en las rocas jurásicas que pudieran haber ocasionado los granitos cretácicos, sugiere que muchas de las estructuras dúctiles y quebradizas en el Jurásico sean anteriores al Cretácico Tardío.

Sin embargo, no se descarta que algunas de las fallas hayan sido reactivadas, como se observó en el tajo San Cristóbal, durante el Cretácico o el Terciario, asignándose a este último período el segundo evento de tectonismo, el fallamiento normal que tiene poca expresión en el área.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a los revisores del presente artículo, Dr. Harald Drewes y un árbitro anónimo, sus atinadas recomendaciones para el mejoramiento del texto, así como para propor-

cionar claridad a las ideas expresadas en él. Este estudio es resultado de una tesis de licenciatura de los dos primeros autores, supervisada por el último. Se agradece también a la compañía Servicios Industriales Peñoles, S.A. de C.V., que amablemente proporcionó información para el desarrollo de este artículo, debido a que en ese tiempo los ahora geólogos, Gerardo Caudillo-Sosa y Luis Fernando Oviedo-Lucero, eran empleados de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anderson, T.H., y Silver, L.T., 1974, Late Cretaceous plutonism in Sonora, Mexico and its relationship to circum-Pacific magmatism: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 6, p. 484 (resumen).
- 1978, Jurassic magmatism in Sonora, Mexico: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 10, p. 359 (resumen).
- 1979, The role of the Mojave-Sonora megashear in the tectonic evolution of northern Sonora, Mexico, in Anderson, T.H., Roldán-Quintana, Jaime, eds., Geology of northern Sonora: University of Pittsburgh y Universidad Nacional Autónoma de México, Geological Society of America, Annual Meeting, San Diego, Guidebook Field trip 27, p. 59-68.
- 1981 (1984), An overview of Precambrian rocks in Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista, v. 5, núm. 2, p. 131-139.
- Anderson, T.H.; Silver, L.T.; y Córdoba, D.A., 1969, Mesozoic magmatic events of the northern Sonora coastal region, Mexico: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 7, p. 3-4 (resumen).
- Campa, M.F., y Coney, P.J., 1983, Tectonostratigraphic terranes and mineral resource distribution in Mexico: Canadian Journal of Earth Sciences, v. 20, p. 1040-1051.
- Connors, C.D.; Anderson, T.H.; y Silver, L.T., 1989, Expression and structural analysis of the Mojave-Sonora Megashear in northwestern Sonora, Mexico: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 21, p. A91 (resumen).
- Corona, F.V., 1979, Preliminary reconnaissance geology of Sierra La Gloria and Cerro Basura, northwestern Sonora, Mexico, in Anderson, T.H., y Roldán-Quintana, Jaime, eds., Geology of northern Sonora: University of Pittsburgh y Universidad Nacional Autónoma de México, Geological Society of America, Annual Meeting, San Diego, Guidebook Field trip 27, p. 32-48.
- 1980, Reconnaissance geology of Sierra La Gloria and Cerro Basura, northwestern Sonora, Mexico: Pittsburgh, PA, University of Pittsburgh, tesis de maestría, 232 p. (inédita).
- Damon, P.E., 1968, Potassium-Argon dating of igneous and metamorphic rocks with applications to the Basin and Ranges of Arizona and Sonora, in Hamilton, E.I., y Farquhar, R.M., eds., Radiometric dating for geologists: Londres y Nueva York, Interscience Publishers, p. 1-71.
- Damon, P.E.; Livingston, D.E.; y Giletti, J.B., 1962a, Extension of the Older Precambrian of the southwest into Sonora, Mexico: Geological Society of America Special Paper 68, p. 158-159.
- Damon, P.E.; Livingston, D.E.; Mager, R.L.; Giletti, B.J.; y Pantoja-Alor, Jerjes, 1962b, Edad del Precámbrico "Anterior" y de otras rocas del zócalo de la región de Caborca-Altar de la parte noroccidental del Estado de Sonora: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Boletín 64, pte. 2, p. 11-44.
- Damon, P.E.; Shafiqullah, Muhammad; y Roldán-Quintana, Jaime, 1984, The Cordilleran Jurassic arc from Chiapas (southern Mexico) to Arizona: Geological Society of America Abstracts with Programs, v. 16, p. 482 (resumen).
- Drewes, Harald, 1991, Description and development of the Cordilleran Orogenic Belt in the southwestern United States and northern Mexico: U.S. Geological Survey Professional Paper 1512, 92 p.
- Haxel, G.B.; Wright, J.E.; May, D.J.; y Tosdal, R.M., 1980, Reconnaissance geology of the Mesozoic and lower Cenozoic rocks of the southern Papago Indian Reservation, Arizona—a preliminary report, in Jenny, J.P., y Stone,

- Claudia, eds., *Studies in western Arizona*: Arizona Geological Society Digest, v. 12, p. 17-29.
- Haxel, G.B.; Tosdal, R.M.; May, D.J.; y Wright, J.E., 1984, Latest Cretaceous and early Tertiary orogenesis in south central Arizona—Thrust faulting, regional metamorphism, and granitic plutonism: *Geological Society of America Bulletin*, v. 95, p. 631-653.
- Merriam, Richard, 1972, Reconnaissance geological map of Sonoita Quadrangle, northwest Sonora, Mexico: *Geological Society of America Bulletin*, v. 83, p. 3533-3536.
- Nourse, J.A., 1989, Geological evolution of two crustal scale shear zones, part 2, The Magdalena metamorphic core complex: Berkeley, California Institute of Technology, disertación doctoral, pte. 2, p. 64-396 (inédita).
- 1990, Tectonostratigraphic development and strain history of the Magdalena metamorphic core complex, northern Sonora, Mexico, in Gehrels, G.E., y Spencer, J.E., eds., *Geologic excursions through the Sonoran desert region, Arizona and Sonora*: Arizona Geological Survey Special Paper 7, p. 155-164.
- Raisz, Erwin, 1964, *Landforms of Mexico* (2ª ed.): Cambridge, Massachusetts, mapa con texto, escala 1:3'000,000.
- Rangin, Claude, 1977, Tectónicas sobrepuestas en Sonora septentrional: *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Revista*, v. 1, p. 44-47.
- 1978, Consideraciones sobre la evolución geológica de la parte septentrional del Estado de Sonora, in Roldán-Quintana, Jaime, y Salas, G.A., eds.: *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Primer simposio sobre la geología y potencial minero en el Estado de Sonora, Hermosillo, Libro guía*, p. 35-55.
- 1982, *Contribution à l'étude géologique du Système Cordillerain du nord-ouest de Mexique*: París, Université Pierre et Marie Curie, disertación doctoral, 588 p. (inédita).
- Rodríguez-Castañeda, J.L., 1984, *Geology of the Tuape region, north-central Sonora, Mexico*: Pittsburgh, PA, University of Pittsburgh, tesis de maestría, 157 p. (inédita).
- 1989, *Estratigrafía y tectónica de rocas jurásicas: Hermosillo, Sonora*, Universidad de Sonora, Departamento de Geología, Semana Cultural, 21-25 nov., Memoria, p. 1-2 (resumen).
- Rodríguez-Castañeda, J.L., y García y Barragán, J.C., 1994, Late Jurassic-Early Cretaceous thrusting in the Altar region, northwest Sonora, Mexico: *Geological Society of America, Cordilleran Section, Abstracts with Programs*, v. 26, p. 85 (resumen).
- Silberman, M.L.; Giles, D.A.; y Graubard, Cenda, 1988, Characteristics of gold deposits in northern Sonora, Mexico—a preliminary report: *Economic Geology*, v. 83, p. 1966-1974.
- Silver, L.T.; y Anderson, T.H., 1974, Possible left-lateral early to middle Mesozoic disruption of the southwestern North America craton margin: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 6, p. 995 (resumen).
- 1983, Further evidence and analysis of the role of the Mojave-Sonora megashear(s) in Mesozoic cordilleran tectonics: *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 15, p. 273 (resumen).
- Tosdal, R.M.; Haxel, G.B.; y Wright, J.E., 1989, Jurassic geology of the Sonoran desert region, southern Arizona, southeastern California, and northernmost Sonora—Construction of a continental-margin magmatic arc, in Jenny, J.P., y Reynolds, S.J., eds., *Geologic evolution of Arizona*: Arizona Geological Society Digest, v. 17, p. 397-434.
- Tosdal, R.M.; Haxel, G.B.; Anderson, T.H.; Connors, C.D.; May, D.J.; y Wright, J.E., 1990, Highlights of Jurassic, Late Cretaceous to early Tertiary, and middle Tertiary tectonics, south-central Arizona and north-central Sonora, in Gehrels, G.E., y Spencer, J.E., eds., *Geologic excursions through the Sonoran desert region, Arizona and Sonora*: Arizona Geological Survey Special Paper 7, p. 76-88.

Manuscrito recibido: 3 de noviembre de 1994.

Manuscrito corregido devuelto por el autor: 17 de marzo de 1996.

Manuscrito aceptado: 17 de mayo de 1996.