

ASPECTOS GEODINAMICOS DE LA REGION NOROCCIDENTAL DE MEXICO

Claude Rangin*

RESUMEN

En la región noroccidental de México (Baja California y Sonora), la cadena mesozoica fue profundamente afectada por los procesos tectónicos ligados a la abertura del Golfo de California. Esta cadena, establecida sobre un zócalo paleozoico de dirección NE-SW, está caracterizada por varias unidades pertenecientes a distintos dominios paleogeográficos; así, del oeste hacia el este, podemos distinguir cuatro, que son:

En Baja California occidental, varios complejos ofiolíticos, del Triásico Superior-finales del Jurásico-Neocomiano, cabalgan esquistos azules de alta presión y baja temperatura. Estas unidades representan un dominio paleo-oceánico.

Hacia el este, en Baja California, un dominio volcánico-plutónico está caracterizado por antiguos arcos magnéticos del final del Jurásico Medio y Cretácico Temprano, cabalgando hacia el oeste las unidades ofiolíticas.

En Sonora, un importante volcanismo fisural del Jurásico Temprano-Medio se desarrolló a lo largo de lineamientos WNW-ESE.

Por último, un dominio oriental está caracterizado por secuencias detríticas y carbonatadas de edad cretácica temprana, semejantes a aquéllas de la Cuenca de Chihuahua, y transgresivas hacia el oeste sobre el volcanismo jurásico.

La evolución geodinámica en el Mesozoico de esta cadena se puede subdividir en varios periodos.

De finales del Triásico al Cretácico medio, el margen continental de esta región fue la sede de los procesos de abertura y cierre de una cuenca oceánica, marginal del Continente Norteamericano. Los complejos ofiolíticos podrían representar testigos del fondo oceánico de esta cuenca marginal. El establecimiento de los arcos magnéticos a lo largo de este margen continental reflejaría procesos de subducción que afectaron esta cuenca marginal.

Durante el Cretácico medio, el metamorfismo de alta presión en el dominio paleo-oceánico y los fenómenos tectónicos que afectan tanto este dominio como al volcánico-plutónico, se traducen en procesos de colisión entre el Continente Norteamericano y un microcontinente, bordeando la cuenca marginal al oeste. Este periodo compresivo produce pliegues orientados WNW-ESE en Sonora occidental y central.

Durante el Cretácico Tardío, grandes espesores de molasas se depositaron en el oeste en Baja California y en la región nororiental de Sonora. Entre estas dos áreas de sedimentación, numerosos plutones afectaron al dominio volcánico-plutónico anteriormente deformado.

Al fin del Cretácico y principios del Terciario, la fase Laramide está marcada por pliegues de gran radio de curvatura en Baja California y cabalgaduras locales en Sonora oriental.

En esta forma, la región constituye una transición, tanto paleogeográfica como estructural, entre el Sistema Cordillerano del occidente de México, deformado principalmente durante la fase meso-cretácica y el Sistema de la Cuenca de Chihuahua y la Sierra Madre Oriental, deformados durante la fase Laramide.

RESUME

Dans la région nord-occidentale du Mexique (Basse Californie et Sonora), la chaîne mésozoïque a été profondément affectée par la tectonique liée à l'ouverture du Golfe de Californie. Cette chaîne, posée sur un socle paléozoïque de direction NE-SW, est caractérisée par plusieurs unités qui appartiennent à des domaines paléogéographiques différents. Ainsi, nous pouvons distinguer de l'Ouest vers l'Est, trois domaines:

En Basse Californie occidentale, plusieurs complexes ophiolitiques d'âge triasique supérieur et jurassique supérieur-neocomien chevauchent des schistes bleus de haute pression et basse température. Ces unités représentent un domaine paléo-océanique.

Vers l'Est, en Basse Californie, un domaine volcánico-plutonique est caractérisé par d'anciens arcs magmatiques, d'âge jurassique moyen et supérieur et crétacé inférieur, chevauchant vers l'Ouest les unités ophiolitiques.

En Sonora, un important volcanisme fissural d'âge jurassique inférieur et moyen se développe à la faveur de linéament de direction WNW-ESE.

Enfin, le domaine oriental est caractérisé par des séquences detríticas et carbonatées d'âge crétacé inférieur semblables à celles du Bassin Chihuahuense, et transgressives vers l'Ouest sur le volcanisme jurassique.

L'évolution géodynamique de cette chaîne durant le Mésozoïque peut être subdivisée en plusieurs périodes:

Du Trias supérieur au Crétacé moyen, la bordure continentale de cette région a été le siège de processus d'ouverture et de fermeture d'un bassin océanique, sur la bordure du continent nord-américain. Les complexes ophiolitiques pourraient être les témoins du fond océanique de ce bassin marginal. L'établissement d'arcs magmatiques le long de cette bordure continentale pourrait être le reflet des phénomènes de subduction qui ont affecté ce bassin marginal.

Durant le Crétacé moyen, le métamorfisme de haute pression dans le domaine paléo-océanique et les phénomènes tectoniques qui ont affecté aussi bien ce domaine que le domaine volcánico-plutonique, traduisent des processus de collision entre le continent nord-américain et un microcontinent bordant le bassin marginal vers l'Ouest. Cette période compressive produit des plis dirigés WNW-ESE en Sonora occidentale et central.

Pendant le Crétacé supérieur, se sont déposées de grandes épaisseurs de molasses à l'Ouest en Basse Californie, et dans la région nord-orientale de Sonora. Entre ces deux zones de sédimentation, de nombreux plutons ont affecté le domaine volcánico-plutonique, déjà déformé.

* *Departement de Géologie Structurale, Université Pierre et Marie Curie, Paris Rep. 339, Francia.*

A la fin du Crétacé et au début du Tertiaire, la phase laramienne a été marquée par des plis à grand rayon de courbure en Basse Californie et des chevauchements locaux en Sonora orientale.

Ainsi, cette région constitue une transition tant du point de vue paléogéographique que structural entre le système cordillérain de l'Ouest du Mexique, déformé principalement durant la phase méso-crétacée et le système du Bassin Chihuahuense et la Sierra Madre Oriental déformés pendant la phase laramienne.

INTRODUCCION

La parte noroccidental de la República Mexicana está caracterizada por una historia geológica compleja que se inscribe dentro de la evolución del margen occidental del Continente Norteamericano. Varias fases tectónicas sobrepuestas en el tiempo son el origen de esta cadena peri-pacífica.

En el noroeste de México podemos reconocer los siguientes periodos:

— La abertura reciente (Plioceno al presente) del Golfo de California.

— Un período del fin del Cretácico-Mioceno, caracterizado por largos procesos de subducción, marcados por un importante magmatismo sobre el margen continental, interrumpidos por fases tectónicas intracontinentales como la fase Laramide.

— Un período del fin del Triásico al Cretácico medio, marcado por una paleogeografía compleja, donde los procesos de subducción, colisión y largos cizallamientos intracontinentales tienen un papel fundamental.

— Finalmente, un largo período del Paleozoico y Precámbrico, cuyos rasgos paleogeográficos y tectónicos son preliminares o indefinidos, debido a la falta de afloramientos continuos o estudios suficientes.

En particular, en este artículo describiremos los periodos que van del fin del Triásico al Mioceno.

DEL FIN DEL TRIASICO AL CRETACICO MEDIO

Este intervalo está caracterizado por varios cinturones de terrenos con orientación NW-SE en Baja California y Sonora (Figura 1). Cada uno de ellos está constituido por una o más unidades pertenecientes a varios dominios paleogeográficos. Así, de oeste a este, podemos distinguir:

A — UN DOMINIO PALEO-OCEANICO

Está marcado por varios complejos ofiolíticos, muy deformados, generalmente incompletos y parcialmente metamorfosados bajo condiciones de alta presión-baja temperatura (esquistos azules). Las unidades que pertenecen a este dominio están aflorando en Baja California, en las islas de Cedros, Margarita-Magdalena y San Benito, y sobre el continente en la Península de Sebastián Vizcaíno y la región del Arco. Estos terrenos constituyen la prolongación hacia el sur del complejo Franciscano (*s.l.*) de California (Jones *et al.*, 1976).

Las unidades metamórficas (alta presión-baja temperatura) constituyen las unidades más bajas del edificio estructural en Baja California (posición de autóctono relativo). La descripción de las diferentes unidades y su paragénesis fueron hechas anteriormente (Rangin, 1977c). Pueden reconocerse dos grandes tipos de unidades (Figura 2):

Las unidades de tipo *mélange* presentan, además de un aspecto caótico, un metamorfismo de grado variable, tanto en los bloques como en la matriz. Así, los bloques que van

del tamaño del grano hasta varios metros de anchura, están formados por metagrauvascas, metarradiolaritas, metaconglomerados, mármoles y rocas metavolcánicas (metabasaltos y meta-tobas).

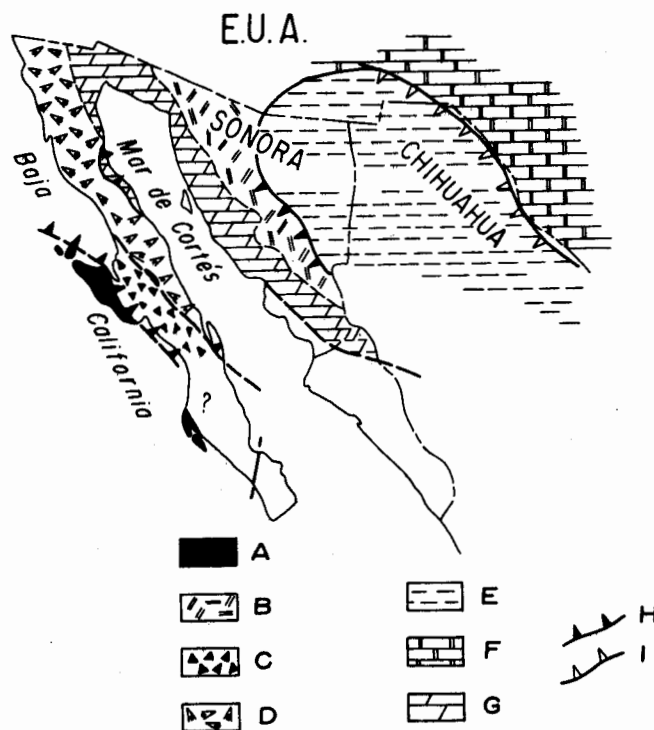


Figura 1.- Principales dominios paleogeográficos del noroeste de México durante el Jurásico-Cretácico Temprano. A - Dominio paleo-oceánico. B - Arco magmático de Sonora (Jurásico Inferior-Medio). C - Arco magmático de San Andrés (Jurásico Medio-Superior). D - Arco magmático de Alisitos (Aptiano-Albiano). E - Cuenca cretácica chihuahuense. F - Plataforma de Texas. G - Zócalo costero. H - Cabalgadura. I - Cabalgadura inferida.

El grado de metamorfismo cambia según las unidades (jadeíta-lausonita o facies de esquistos verdes). Los conglomerados por ejemplo, muestran la asociación de diversos cantos con varias paragénesis. La matriz que contiene los bloques es de origen sedimentario (metagrauvascas) y presenta también diferentes grados de metamorfismo (glaucofano-lausonita para el más alto grado, laumontita para el más bajo). Los radiolarios preservados en algunos bloques dan una edad titoniana (Pessagno, 1977, comunicación escrita).

Las edades de metamorfismo son escasas y limitadas al Cretácico Temprano-medio (Suppe y Armstrong, 1972).

Las unidades coherentes se presentan como largas escamas hectométricas o kilométricas, intercaladas en los *mélange*. La más significativa es la unidad del Monte Cedros, conformada por grauvascas y metatobas con paragénesis glaucofano-lausonita y localmente lausonita-jadeíta. Esta unidad constituye el punto culminante de la Isla de Cedros. En este conjunto de unidades metamórficas no se pudo observar metamorfismo decreciente ("upside down metamorphism" de

ERNST). Los fechamientos existentes (Cretácico Temprano-medio) de estas rocas con facies de esquistos azules permite

pensar que se formaron en la etapa anterior a la colisión y no durante una subducción continua.

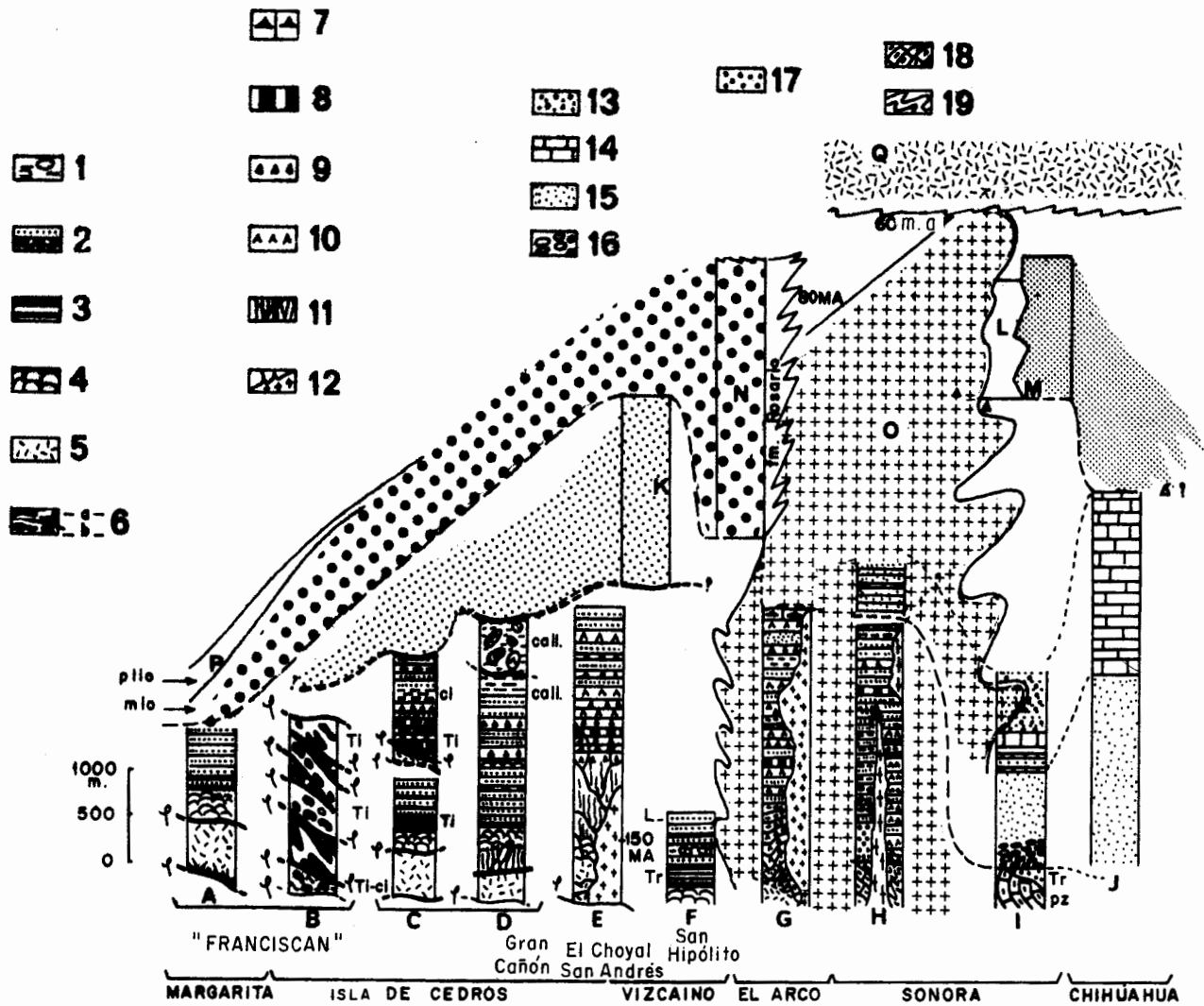


Figura 2.- Columnas estratigráficas esquemáticas de Baja California central y Sonora-Chihuahua septentrionales. A - Unidades de la Isla de Margarita. B - Escamas de esquistos azules y *mélanges* en la Isla de Cedros. Ti = Titiánico. C - Complejos ofiolíticos no metamorfoseados de la Isla de Cedros (abajo) y de Morro Hermoso, Vizcaíno (arriba). Ti = Titiánico; Ci = Principio del Cretácico. D - Secuencia volcano-sedimentaria del Gran Cañón de Cedros. call = Caloviano. E - Complejo volcano-plutónico del Choyal (Isla de Cedros). F - Secuencia de San Hipólito-Vizcaíno, fines del Triásico. G - Complejo volcano-plutónico de Alisitos (Cretácico Inferior). H - Complejo volcano-plutónico de Sonora (Cucurpe) del Oxfordiano. I - Secuencia detritica y carbonatada grupo Bisbee, Cretácico Inferior, Sonora. J - Secuencia del Cretácico Inferior y medio en Chihuahua. K - Flysch del Albo-Cenomaniano (Vizcaíno-Cedros). L - Moladas del grupo Cabullona (fines del Cretácico) en Sonora. M - Flysch del fin del Cretácico en Chihuahua (Ciudad Juárez-Ojinaga). N - Moladas del Cretácico Superior en Baja California (formaciones Valle superior y Rosario). O - Batolito peninsular en Baja California y magmatismo del Cretácico Superior en Baja California (formaciones Valle superior y Rosario). P - Mioceno (Mio), Plioceno (Plio) marino en Baja California (formaciones Tortugas y Almejas). Q - Volcanismo ignimbrítico (Oligoceno-Mioceno) de la Sierra Madre Occidental. 1 - Complejo de bloques. 2 - Grauvacas y arcillas. 3 - Radiolaritas, 4 - *Pillow*-basaltos. 5 - Rocas ultramáficas. 6 - Unidades de esquistos azules: a) unidades coherentes; b) unidades de tipo *mélange*. 7 - Calizas del Cretácico Inferior. 8 - Tobas. 9 - Brechas volcánicas. 10 - Coladas andesíticas. 11 - Complejo filonítico. 12 - Tonalitasgranodioritas y filones asociados. 13 - Cretácico Temprano - areniscas - facies de regresión. 14 - Calizas subarrecifales - Aptiano-Albiano. 15 - Areniscas deltaicas. 16 - Conglomerados - Transgresión. 17. Fin del Triásico con facies continental. 18 - Zócalo ante-triásico no metamórfico. 19 - Zócalo ante-triásico metamórfico.

Los cuerpos ofiolíticos (rocas ultramáficas-máficas, volcanismo de tipo *pillow-lavas* y su cubierta sedimentaria) están dilaceradas y cabalgan las unidades metamórficas de tipo esquistos azules. En la base de algunos de estos cuerpos ofiolíticos, las serpentinas contienen bloques de dichas rocas metamórficas. Pueden reconocerse cuerpos ofiolíticos de diferentes edades: Triásico Tardío en San Hipólito (Finch, 1976; Figura 2F) o Jurásico Tardío (Rangin, 1976; Figura 2C).

B - UN DOMINIO VOLCANO-PLUTONICO

Está representado por varios complejos magmáticos generalmente calco-alcalinos, caracterizándose por importantes secuencias volcánicas, volcano-sedimentarias y volcano-detriticas. Estos conjuntos están atravesados por plutones (tonalitas a granodioritas), co-magmáticas con las secuencias de origen volcánico encajonantes.

Pueden diferenciarse varios cinturones magmáticos:

— Un cinturón del Jurásico Temprano-Medio se encuentra en el Estado de Sonora (Figura 2H). Se conocen secuencias volcano-clásticas de edades liásica y oxfordiana, en la parte septentrional de la entidad mencionada (Hardy, 1973; Rangin, 1977a). Asimismo, se aprecia un magmatismo de edad semejante en esta región (Anderson y Silver, 1978).

— Un cinturón del final del Jurásico Medio está presente en el occidente de Baja California (Rangin, 1978b), cabalgando las unidades del dominio paleo-oceánico. Los elementos de este complejo magmático están aflorando en la Península de Sebastián Vizcaíno y la Isla de Cedros. Se puede reconocer un complejo filonítico basal [Complejo del Choyal de Cedros (Figura 2E)] y en transición arriba hacia secuencias volcano-sedimentarias del Caloviano (Figura 2D) (secuencia del Gran Cañón). Las secuencias volcano-clásticas del Titoniano (Formación Eugenia) y cuerpos tonalíticos del fin del Jurásico pertenecen a este mismo complejo.

— Un cinturón cretácico inferior (Formación Alisitos; Figura 2G), está ampliamente representado en Baja California, constituido por grandes espesores de andesitas, brechas y tobas, como grauvacas y calizas del Aptiano-Albiano (Santillán y Barrera, 1930). Esta franja magmática de Alisitos se encuentra hacia el sur, sobre el continente en Sinaloa (Bonneau, 1969).

Estas secuencias volcanógenas proporcionaron importantes volúmenes de material clástico hacia el oeste, donde se

deposita la formación Valle inferior del fin del Albiano-Cenomaniano medio.

C — UN DOMINIO SEDIMENTARIO EXTERNO

Incluye las secuencias detríticas y carbonatadas del Aptiano-Albiano en Sonora oriental. Estas secuencias transgresivas del Aptiano superior sobre el complejo magmático jurásico de Sonora (Córdoba y Rangin, 1976), formaban parte de una cuenca marina epicontinental que se cerraba hacia el norte en Arizona [Figura 2I (Hayes, 1970a)], y se abría hacia el sur, en la cuenca de Chihuahua y la actual Sierra Madre Oriental (Córdoba *et al.*, 1980).

En esta forma, se pueden distinguir dominios que pertenecen a historias geológicas distintas. Los dominios ofiolíticos y volcano-plutónicos corresponden a la historia del Pacífico. Por el contrario, la cuenca externa oriental constituye la prolongación y terminación hacia el norte del dominio mesoгеano en México (Tardy, 1977; Córdoba *et al.*, 1980).

D — LAS FASES TECTONICAS SOBREPUESTAS

1) *Relaciones estructurales entre las unidades de los diferentes dominios.* - En Baja California, las secuencias volcano-plutónicas están cabalgando las unidades del dominio paleo-oceánico.

En la Isla de Cedros (Figura 3), el complejo del Cho-

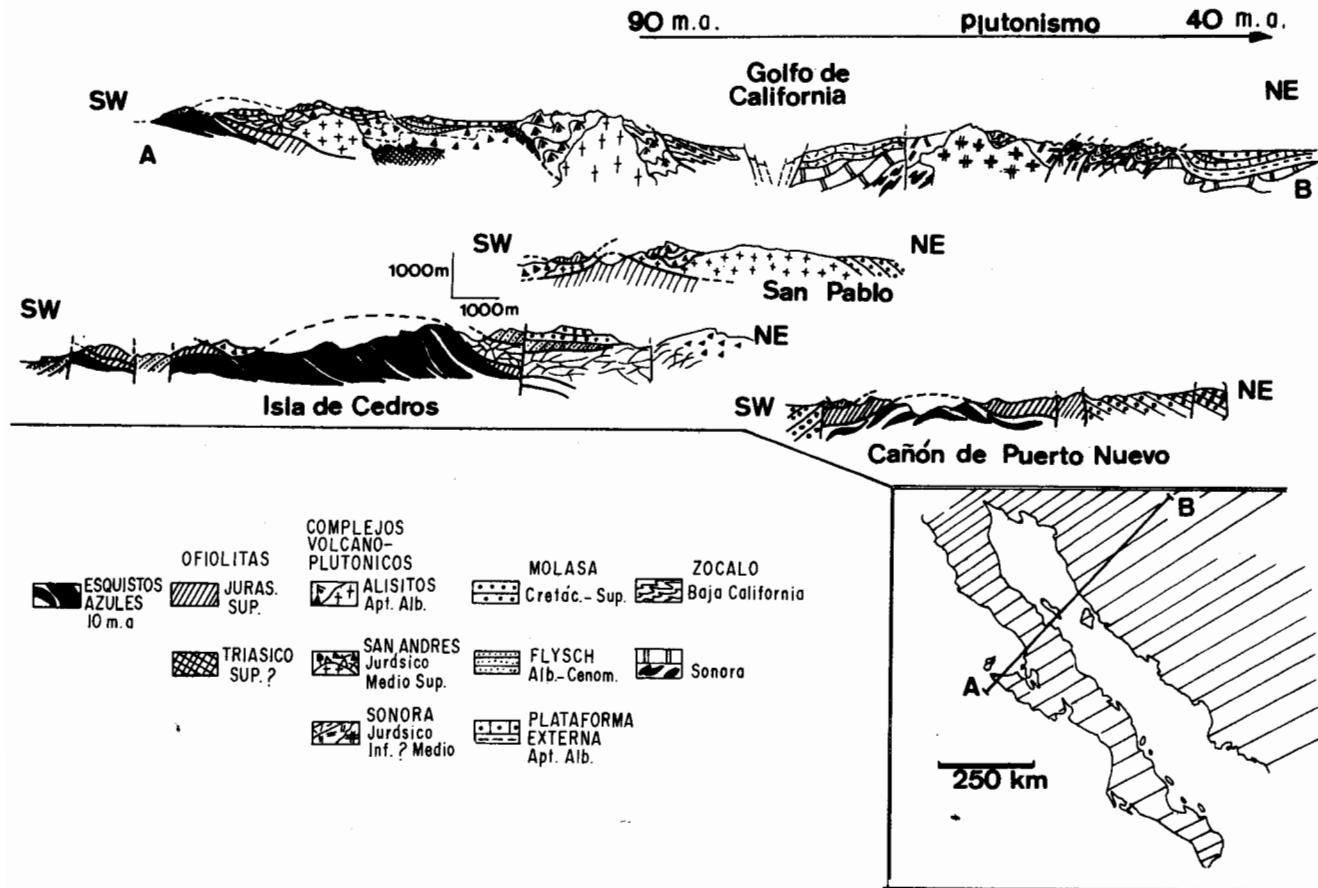


Figura 3. Secciones estructurales en el norte de México. La sección A-B está restituída al principio del fin del Cretácico, los plutones de esta edad en Sonora no están representados. El Golfo de California está representado únicamente para localizarlo. La sección de San Pablo (Vizcaíno-Baja California) muestra la cabalgadura del complejo volcánico-plutónico del Jurásico Medio-Superior sobre las ofiolitas. La sección de la Isla de Cedros está hecha a lo largo de la costa oriental de la isla. La sección del Cañón de Puerto Nuevo muestra las ofiolitas cabalgando los esquistos azules.

yal y la secuencia del Gran Cañón se sobreponen tectónicamente a las unidades de esquistos azules y *mélanges*, por una parte, y a los complejos ofiolíticos no metamorfoseados por la otra. Por ejemplo, a lo largo de la costa oriental de la Isla de Cedros (Figura 3), el complejo volcánico-plutónico cabalga hacia el sur la unidad metamórfica de alta presión-baja temperatura de Piedra de Orozco. Las rocas ultramáficas serpentinizadas están presentes a lo largo del contacto. En la parte suroccidental de la isla, el complejo ofiolítico del Títoniano tectónicamente se encuentra entre los esquistos azules en la base y la unidad volcánico-plutónica del Choyal arriba. Este complejo ofiolítico cabalga los esquistos azules en la Sierra de San Andrés, en la Península de Sebastián Vizcaíno (Figura 3). En la misma región, el complejo volcánico-plutónico del Jurásico Medio-Superior está cabalgando las ofiolitas del Jurásico; el contacto se observa en la Sierra de San Pablo (Rangin, 1978b) y la disposición estructural se ilustra en la Figura 3.

Al oriente en la región de El Arco (Echavarrí y Rangin, 1978), el complejo magmático de Alisitos está intensamente plegado, con pliegues orientados NW-SE, recostados hacia el SW.

Las relaciones estructurales entre el zócalo costero y el complejo de Alisitos se perciben más al norte en Baja California, en el sector de Calamajue, cerca de la costa del golfo. Aquí, las secuencias epimetamórficas muestran varias fases de plegamiento, cabalgan hacia el SW la secuencia volcánica de Alisitos y el contacto buza 70° hacia el NE. Las mismas relaciones estructurales se advierten todavía más al norte, cerca del Rancho La Suerte y sobre el camino al observatorio de la UNAM.

En Baja California, estructuralmente se pueden reconocer de abajo hacia arriba: las unidades de *mélange* y los esquistos azules; varios complejos ofiolíticos del Triásico al fin del Jurásico; un complejo volcánico-plutónico Jurásico Medio-Superior; un complejo volcánico-plutónico del Cretácico Inferior; y un basamento epimetamórfico.

Esta disposición estructural está cubierta en discordancia por la formación Valle superior del Turoniano-Maestrichtiano al poniente, y por la Formación Rosario [Turoniano? —Maestrichtiano (Kilmer, 1963)] más al oriente.

En Sonora, las secuencias volcánicas del Oxfordiano (Rangin, 1977a) y las detríticas y carbonatadas del Aptiano-Albiano que las cubren en discordancia, están representadas por una serie de escamas de poca amplitud, orientadas hacia el NE. Tal disposición estructural (Figura 3) se aprecia al sur de Cananea en Sonora septentrional y en la región de Bacanora en Sonora central.

Como consecuencia de tales movimientos se acumularon depósitos molásicos continentales en la región de Cabullóna al final del Cretácico (Rangin, 1977b; Almeida y Martínez, 1978).

2) *Las principales fases tectónicas.*— Los cizallamientos intrac Continentales del Jurásico. Los procesos tectónicos tangenciales se sobreponen a largos desplazamientos del terreno, a favor de cizallamientos de escala continental.

En Sonora y Baja California, el zócalo precámbrico y paleozoico está afectado por largas zonas de discontinuidad con orientación WNW-ESE (Anderson y Silver, 1979; Tardy, 1978) como puede observarse en Baja California, en las fallas de Agua Blanca, Guerrero Negro, y en Sonora (Mojave-Sonora Megashield de Anderson y Silver; accidentes de Cananea y de Bisbee).

El magmatismo jurásico inferior-medio (180-150 m.a. U-Pb; Anderson y Silver, 1978) parece alinearse a lo largo de estas discontinuidades (intrusivos jurásicos de Bisbee, volcanismo de Cananea y de Canelo Hills, Arizona). Se pueden observar importantes contrastes a cada lado de estos accidentes. Dicha oposición de facies en el Precámbrico a cada lado de la discontinuidad Mojave-Sonora (Figura 4) fue descrita por Anderson y Silver (1979).

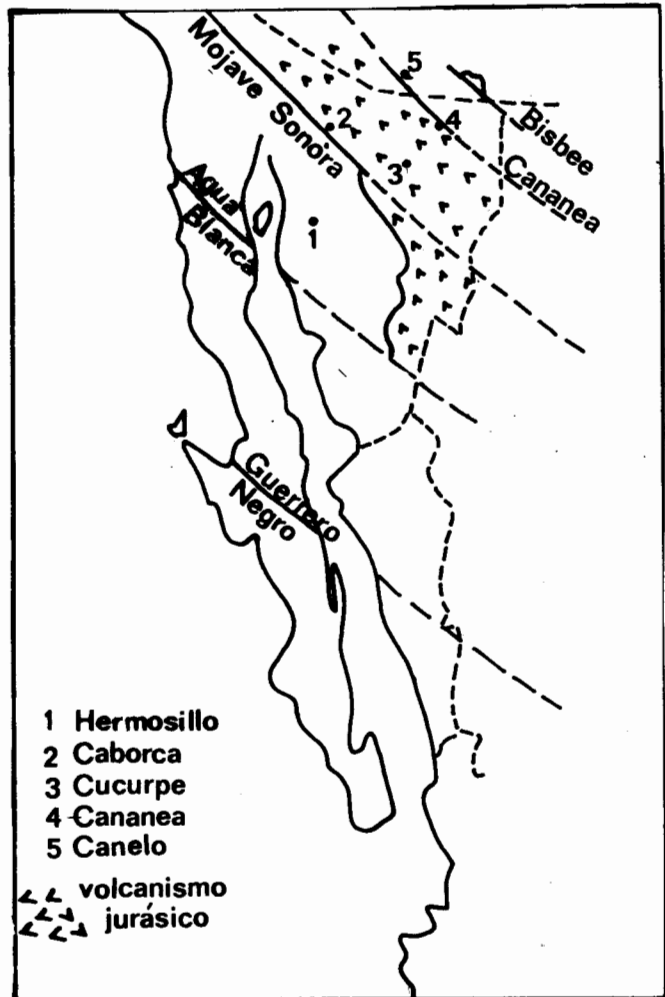


Figura 4.— Representación esquemática de los lineamientos jurásicos inferidos en el NW de México. Los lineamientos de Agua Blanca y Guerrero se han considerado como parte de esta familia de accidentes.

Es posible advertir contrastes similares de facies entre Bisbee — Agua Prieta y Cucurpe, a cada lado del lineamiento de Cananea. Así, al NE de Cananea, las secuencias externas del Cretácico Inferior (grupo Bisbee) descansan directamente sobre el Paleozoico superior; lo contrario ocurre al sur de Cananea, en la región de Cucurpe, donde las secuencias volcánicas del Jurásico Medio, ausentes en el bloque más al NE, descansan directamente sobre el zócalo metamórfico precámbrico.

De la misma manera, es factible apreciar contrastes en cada lado de la falla de Agua Blanca en Baja California. Así, al norte la formación Alisitos descansa sobre el Paleozoico (McEldowney, 1970), mientras que al sur de esta falla, dicho basamento no fue reconocido.

Más al sur, en el Desierto de Vizcaíno, el lineamiento

de Guerrero Negro, cubierto en discordancia por el Cretácico Superior, podría pertenecer a la misma familia de accidentes (A. Guzmán, comunicación personal).

Sin considerar los movimientos recientes de algunas de estas fallas (Agua Blanca), los depósitos del Cretácico Inferior no parecen estar afectados; por el contrario, el magmatismo jurásico de Sonora parece alinearse a lo largo de estas discontinuidades [intrusivos jurásicos de Bisbee; volcanismo de Cananea y de Canello Hills (Hayes, 1970b)].

Las regiones de Sonora y Baja California parecen haber estado afectadas por largos cizallamientos durante el Jurásico y podrían ser los sitios del volcanismo durante ese tiempo. Las fases tectónicas tangenciales se superponen en tiempo y espacio a lo largo de esta transversal.

Una fase del fin del Jurásico — principio del Cretácico está marcada principalmente en Sonora por la discordancia del Cretácico Inferior (Aptiano-Albiano) de la cuenca externa, sobre la secuencia volcánico-sedimentaria plegada del Oxfordiano.

En Baja California, la Formación Alisitos descansa con leve discordancia sobre la secuencia volcánico-sedimentaria del Jurásico Medio de San José, al norte de Guerrero Negro. De la misma manera, en la Península de Sebastián Vizcaíno, la formación Valle inferior del Albiano, descansa con discordancia sobre diferentes miembros del complejo volcánico-plutónico del Jurásico Medio-Superior.

La fase del Cretácico medio, cuyas estructuras están cubiertas con discordancia por las molasas del Turoniano-Maestrichtiano, tiene un papel fundamental en la estructuración de esta región y se distingue, en Baja California, por el metamorfismo de alta presión de tipo esquistos azules (Suppe y Armstrong, 1972), el cabalgamiento hacia el SW de las unidades volcánico-plutónicas jurásicas sobre las unidades del dominio paleo-oceánico (Rangin, 1978b). Esta fase está marcada también por el desprendimiento de la formación Valle inferior del Albiano-Cenomaniano, y por el plegamiento de amplitud variable según los sectores de la Formación Alisitos. El cabalgamiento hacia el suroeste del zócalo costero sobre la Formación Alisitos en la región de Camalagüé está ligado a este mismo evento tectónico.

En Sonora, esta fase tectónica está marcada por el leve cabalgamiento hacia el NE de las secuencias volcánico-sedimentarias del Jurásico Medio, sobre las secuencias externas del Cretácico Inferior de la Cuenca de Chihuahua. Así, esta fase meso-cretácica da nacimiento a una cadena con doble polaridad. Una cadena con polaridad hacia el poniente se está construyendo en Baja California y una cadena con polaridad oriental se establece en Sonora. A cada lado de este "abanico" estructural (Figura 3) se depositaron durante el Cretácico Superior importantes secuencias molásicas marinas o continentales (Formación Valle superior y Rosario en el occidente de Baja California; grupo Cabullona en el noreste de Sonora).

CRETACICO SUPERIOR-MIOCENO

A — EL CRETACICO SUPERIOR

Este intervalo está caracterizado en el noroeste de México por el depósito de molasas tanto continentales como marinas y por un importante magmatismo calco-alcalino.

En Baja California, la Formación Valle superior y su equivalente oriental, la Formación Rosario, cubren con discordancia las unidades descritas anteriormente. El complejo volcánico-plutónico de Alisitos, presente más al oriente y en curso de erosión, proporciona esencialmente el material detrítico de estas formaciones.

En Sonora se depositaron molasas continentales en la cuenca de Cabullona, y más al poniente en cuencas cerradas de poca extensión (Santa Ana).

Este intervalo corresponde también a los depósitos de flysch de Ciudad Juárez y Ojinaga en Chihuahua (Córdoba y Rangin, 1976) y aquéllos de la Sierra Madre Oriental (Tardy, 1977).

El magmatismo está marcado por importantes intercalaciones de volcanismo explosivo en las molasas en Sonora; el emplazamiento de numerosos cuerpos intrusivos (granodioritas-cuarzo-monzonitas) en Baja California y Sonora. El batolito peninsular de Baja California pertenece a este evento magmático. En Sonora no han sido fechadas importantes cantidades del material andesítico, poco deformado, anterior al evento ignimbrítico del Oligo-Mioceno.

B — LA FASE TECTONICA LARAMIDICA

Esta fase, particularmente bien desarrollada en el oriente de México (Sierra Madre Oriental), en Baja California y Sonora está marcada por estructuras modestas:

En Baja California, las molasas del Cretácico Superior y localmente el Paleoceno, están afectadas por pliegues de amplio radio de curvatura de escala kilométrica y orientados NW-SE.

En Sonora se encuentran estructuras similares, con excepción de la parte nororiental del Estado donde cabalgaduras de poca amplitud hacia el SW llevan el Cretácico Inferior del grupo Bisbee y su basamento paleozoico y precámbrico sobre las molasas del Cretácico Superior de la cuenca de Cabullona (Rangin, 1977b). En Arizona y Chihuahua se encuentran cabalgaduras de la misma generación y con polaridad opuesta.

C — DEL EOCENO AL MIOCENO: EL MAGMATISMO POST-LARAMIDE

En el Eoceno, un importante volcanismo y plutonismo ácido se emplazaron a lo largo de una franja, extendiéndose de Arizona occidental hasta Cananea y Nacozari en Sonora. Este magmatismo fue acompañado por una importante mineralización cuprífera que proporciona la mayoría de los depósitos económicos de esta región.

En el Oligoceno-Mioceno, se emplazó en Sonora el importante volcanismo ignimbrítico, con morfología tabular de la Sierra Madre Occidental (Clabaugh y McDowell, 1984).

En Baja California, también está presente un volcanismo calco-alcalino (Formación Comodú).

DEL FIN DEL MIOCENO AL PRESENTE

El Golfo de California va abriéndose. La abertura en medio continental al principio, lleva a una oceanización parcial del fondo del Mar de Cortés de 3-5 m. a. hasta el Presente.

Una tectónica en extensión de tipo "Sierras y Valles paralelos", acompañada por un volcanismo basáltico alcalino, es contemporánea de esta abertura.

EVOLUCION GEODINAMICA

Con base en estas observaciones, se propone la evolución geodinámica siguiente para el noroeste de México. Un esquema evolutivo durante el Mesozoico para esta región fue propuesto anteriormente (Rangin, 1978a; Figura 5).

Durante el Triásico y el Jurásico, la cadena paleozoica, de dirección NE-SW y oblicua al margen continental estaba fragmentada en varios bloques. Entre los más occidentales, un mar marginal al Continente Norteamericano estaba

en proceso de abertura. Las ofiolitas presentes en Baja California podrían representar los testigos del fondo oceánico de dicha cuenca. Los grandes cizallamientos intracontinentales del Jurásico podrían ser también testigos de esta fragmentación continental.

La presencia de un magmatismo calco-alcalino de tipo arco volcánico (complejos volcano-plutónicos del Jurásico) atestigua procesos de subducción, ligados a esta abertura. Un ejemplo actual de estos procesos geodinámicos se reconoce en las cuencas marginales del Pacífico oriental.

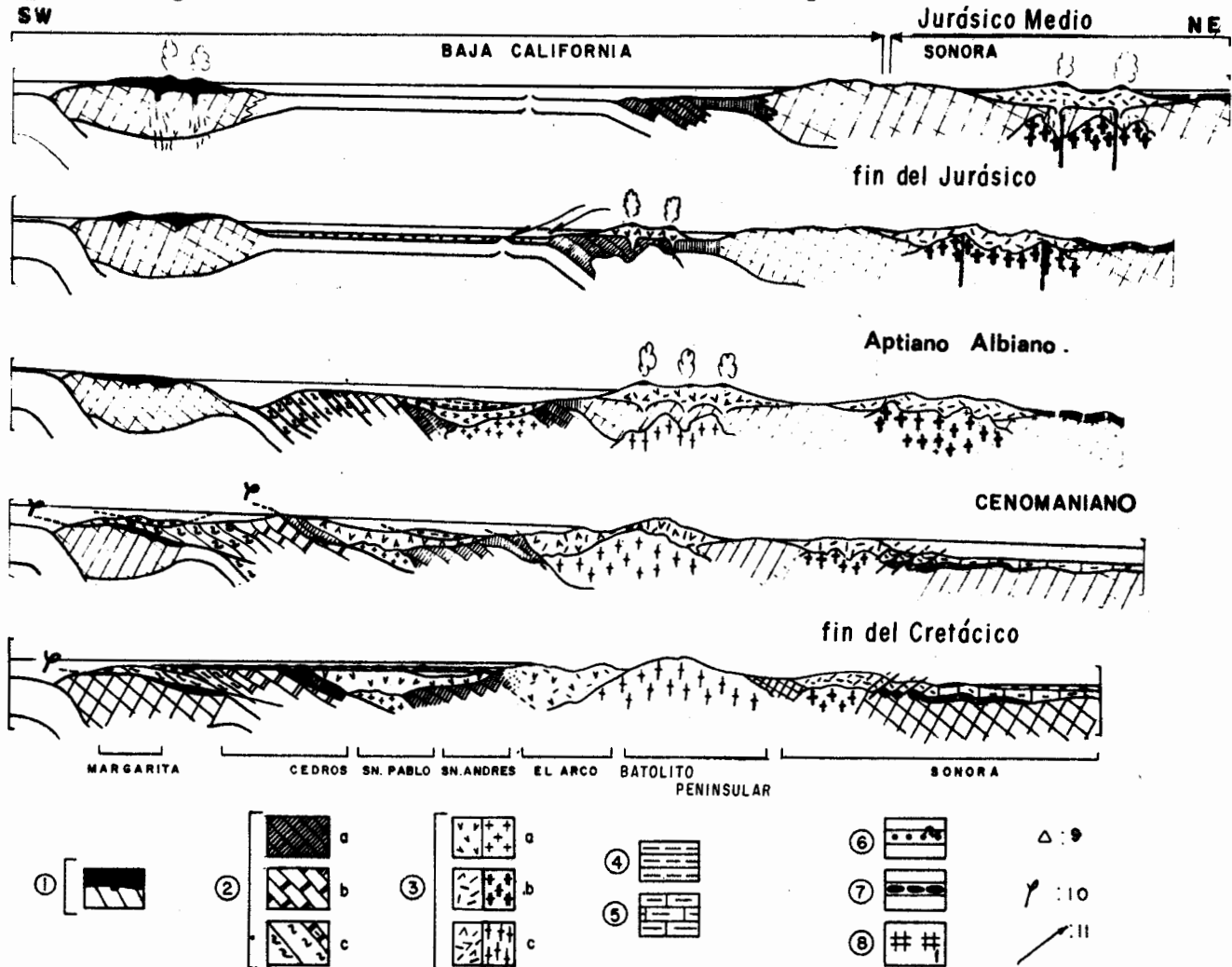


Figura 5.- Modelo de la evolución del Jurásico Medio al fin del Cretácico para el NW de México. Una cuenca marginal al continente norteamericano se desarrolla y va cerrándose del Jurásico Medio al Albiano. Los fenómenos de hipercolisión entre el continente norteamericano al E y un microcontinente al W forman, durante el Cenomaniano, largas cabalgaduras en Baja California y estructuras más modestas en Sonora. En el fin del Cretácico, la subducción de la placa Farallón no deja huella alguna al margen continental, y está marcada por la migración del magmatismo hacia el E. 1 - Microcontinente occidental. Volcanismo calco-alcalino (en negro) establecido sobre corteza continental. 2 - Unidades del dominio paleo-oceánico: a) ofiolitas del fin del Triásico; b) ofiolitas del fin del Jurásico; c) unidades de esquistos azules. 3 - Complejos volcano-plutónicos (los símbolos a la derecha representan los plutones y los de la izquierda las secuencias volcanógenas). a) arco magmático de Sonora; b) arco magmático de San Andrés; c) arco magmático de Alisitos. 4 - Flysch albo-cenomaniano. 5 - Grupo Bisbee en Sonora. 6 - Molasas de Cabullona. 7 - Molasas Valle superior y Rosario. 8 - Zócalo. En la última sección, no están representados los intrusivos en Sonora del fin del Cretácico. 9 - Discordancia. 10 - Contacto tectónico mayor. 11 - Dirección de transporte de clastos.

Del fin del Jurásico al Cretácico medio, esta cuenca marginal entró en compresión y va cerrándose. Este proceso culmina en la colisión de los diferentes bloques anteriormente fragmentados. Los esquistos azules, por ejemplo, podrían ser resultado de los procesos iniciales de obducción del dominio paleo-oceánico de esta cuenca marginal, sobre uno de estos

fragmentos continentales. Los procesos de colisión (fin del Jurásico - principios del Cretácico) y de hipercolisión (Cretácico medio) llevan a la suturación de estos microcontinentes con el Continente Norteamericano. Se desarrollaron cabalgaduras hacia el SW en Baja California y hacia el NE en Sonora durante esta etapa geodinámica.

Durante el Cretácico Tardío, la subducción de la placa Farallón continúa abajo del Continente Norteamericano, no deja huella alguna al margen continental de Baja California. Esta subducción está marcada únicamente por un importante magmatismo calco-alcalino que va desplazándose desde el W hacia el E (Anderson y Silver, 1974; Coney y Reynolds, 1977).

La fase laramídica, durante el Paleoceno vino a modificar la migración de este magmatismo hacia el interior del continente. En el NE del Estado de Sonora, esta fase en compresión dio nacimiento a cabalgaduras locales que podrían desarrollarse a favor de los lineamientos jurásicos.

Del Oligoceno al Mioceno, la zona de subducción que se había adelantado considerablemente abajo del continente, retrocedió hacia el margen continental. El magmatismo ignimbítico de la Sierra Madre Occidental y el volcanismo de la Formación Comondú constituyen las principales etapas de esta migración hacia el W de la zona de subducción.

Del Mioceno al Plioceno, el choque de la dorsal del Pacífico oriental con el margen continental (Atwater, 1970) conduce a la abertura del Golfo de California.

CONCLUSIONES

El norte de México representa un registro excepcional de los procesos geodinámicos que ocurrieron a lo largo del margen continental de Norteamérica. A una evolución compleja, durante el Triásico, Jurásico y principios del Cretácico, que se puede interpretar en términos de cuencas marginales al Continente Norteamericano, sucede durante el Cretácico Tardío y el Paleogeno, una evolución que se parece a aquella de la cadena andina. Estas teorías concluyen con un proceso original: la abertura del Golfo de California.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almeida, Lucía, y Martínez-Hernández, Enrique, 1978, Palinestratigrafía preliminar del grupo Cabullona (Cretácico Tardío) en el noreste de Sonora, México: *Hermosillo, Univ. Sonora, I Simposio sobre la Geología y Potencial Minero del Estado de Sonora, Resúmenes*, p. 7 (resumen).
- Anderson, T. H., y Silver, L. T., 1974, Late Cretaceous plutonism in Sonora, Mexico and its relationship to Circumpacific magmatism: *Geol. Soc. America, Abstr. with Programs*, v. 6, p. 955-956 (resumen).
- 1978, Jurassic magmatism in Sonora, Mexico: *Geol. Soc. America, Abstr. with Programs*, v. 10, p. 359 (resumen).
- 1979, The role of the Mogave-Sonora Megashield in the tectonic evolution of northern Sonora: *Geol. Soc. America, Guide-book Field Trip 27*, p. 59-68.
- Atwater, Tanya, 1970, Implications of plate tectonics for the Cenozoic tectonic evolution of western North America: *Geol. Soc. America, Bull.*, v. 81, p. 3513-3536.
- Bonneau, Michel, 1969 (1971), Una nueva área cretácica fosilífera en el Estado de Sinaloa: *Bol. Soc. Geol. Mexicana*, v. 32, p. 159-167.
- Clabaugh, S. E., y McDowell, F. W., 1984, The igneous history of the Sierra Madre Occidental and its relation to the tectonic evolution of western Mexico: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista*, v. 5, p. 195-206.
- Coney, P. J., y Reynolds, S. J., 1977, Cordilleran Benioff zones: *Nature*, v. 270, p. 403-406.
- Córdoba, D. A., y Rangin, Claude, 1976, Extensión de la cuenca cretácica chihuahuense en Sonora septentrional: *Acapulco (México), Cong. Latinoamer. Geología*, 3, p. 114 (resumen).
- Córdoba, D. A., Tardy, Marc, Rangin, Claude, Carfantan, J. C., y Campa, M. F., 1980, Le Mexique mésogéen et le passage au système cordillérais de type Californie: *París, Cong. Geol. Internal*, 28, p. 18-29.
- Echavarri, P. A., y Rangin, Claude, 1978, El yacimiento cuprífero del Arco; su ambiente geológico y sus características de alteración y mineralización: *Hermosillo, Univ. Sonora, Bol.* 1, p. 1-8.
- Finch, J. W., 1976, Petrology of the San Hipólito Formation, Vizcaíno Peninsula, Baja California, Mexico: *San Diego, Calif. State Univ.*, tesis de maestría (inédita).
- Hardy, L. R., 1973, The geology of an allochthonous Jurassic sequence in the Sierra Santa Rosa, northwest Sonora, Mexico: *San Diego, Calif. State Univ.*, tesis de maestría, 92 p. (inédita).
- Hayes, P. T., 1970a, Cretaceous paleogeography of southeastern Arizona and adjacent areas: *U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 658b*, 48 p.
- 1970b, Mesozoic stratigraphy of the Mule and Huachuca Mountains, Arizona: *U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 658-A*, 28 p.
- Jones, D. L., Blake, M. C. Jr., y Rangin, Claude, 1976, The four Jurassic belts of northern California and their significance to the geology of the southern California borderland: *in Howell, D. G., ed., Aspects of the geologic history of the California continental borderland*, *Am. Assoc. Petroleum Geologists, Misc. Publ.* 24, p. 343-362.
- Kilmer, F. H., 1963, Cretaceous and Cenozoic stratigraphy and paleontology, El Rosario area, Baja California, Mexico: *Berkeley, Calif. Univ.*, disertación doctoral, 216 p. (inédita).
- McEldowney, R. C., 1970, Geology of the northern Sierra Pintada, Baja California, Mexico: *San Diego, Calif. State Univ.*, tesis de maestría (inédita).
- Rangin, Claude, 1976, Le complexe ophiolitique de Basse Californie, une paléocroûte océanique écaillée (Péninsule de Vizcaino, Baja California, Mexique): *Bull. Soc. Géol. France, ser. 7*, v. 18, p. 1677-1685.
- 1977a, Sobre la presencia del Jurásico Superior con amonitas en Sonora septentrional: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista*, v. 1, p. 1-4.
- 1977b, Tectónicas sobrepuestas en Sonora septentrional: *Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista*, v. 1, p. 44-47.
- 1977c, Sur un trait tectonique majeur de la bordure continentale pacifique; le dispositif franciscain en Basse Californie (Mexique): *Soc. Géol. France, Compt. Rend.*, fasc. 4, p. 277-280.
- 1978a, Speculative model of Mesozoic geodynamics, central Baja California to northeastern Sonora, Mexico: *in Howelle, D. G., and McDougall, K. A., eds., Mesozoic paleogeography of the western United States*, *Los Angeles, Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists, Pacific Coast Symp.*, 2, p. 85-105.

- - - 1978b, Sur un complexe volcanique andésitique du Jurassique Supérieur et ses rapports avec des complexes ophiolitiques sur la marge continentale de Basse Californie (Mexique): Acad. Sci. Paris, Compt. Rend., t. 286, p. 1049-1052.
- Santillán, Manuel, y Barrera, Tomás, 1930, Las posibilidades petrolíferas en la costa occidental de la Baja California, entre los paralelos 30 y 32 de latitud norte: Inst. Geol. México, Anales, v. 5, p. 1-37.
- Suppe, J., y Armstrong, R. L., 1972, Potassium-argon dating of Franciscan metamorphic rocks: Am. Jour. Sci., v. 272, p. 217-233.
- Tardy, Marc, 1977, Essai sur la reconstitution de l'évolution paléogéographique et structurale de la partie septentrionale du Mexique au cours du Mésozoïque et du Cénozoïque: Bull. Soc. Géol. France, ser. 7, v. 19, p. 1297-1308.
- - - 1978, Mise en évidence de trois linéaments transcontinentaux nordaméricains; leur histoire depuis le Jurassique: Orsay, Réunion. Am. Sci. Terre, 6, p. 381.
-