

## ESTUDIO GEOLOGICO DE PUNTA COYOTES, BAJA CALIFORNIA SUR

José Jorge Aranda-Gómez<sup>1</sup> y  
José Antonio Perez-Venzor<sup>2</sup>

### RESUMEN

El área cartografiada se localiza en los alrededores de La Paz, Baja California Sur. Las rocas que afloran en esa área tienen edades que oscilan entre Cretácico-medio y Holoceno (?). En su porción oriental aflora el basamento, el cual está compuesto por tonalita y/o granodiorita foliadas, metasedimentos calcáreos, un plutón gabbroico estratificado, aparentemente sin deformar, pero basculado y un batolito granítico (*sensu lato*) sin deformar.

La parte noroccidental está cubierta por rocas cenozoicas que fueron subdivididas informalmente en pre-volcanismo, volcanosedimentario y post-volcanismo, ya que el volcanismo es uno de los fenómenos geológicos más conspicuos que fue activo durante esta era. Las rocas pre-volcanismo son areniscas arcóicas de origen continental (eólico?) y edad desconocida. Las rocas volcanosedimentarias (Mioceno) fueron subdivididas informalmente en siete unidades que incluyen derrames de lava, rocas piroclásticas y rocas volcánicas (epiclásticas). Las rocas volcánicas más comunes en la porción septentrional del área son brechas basálticas, monolíticas, estratificadas pobremente y casi sin selección.

En la porción suroriental del campo volcánico las rocas más abundantes son conglomerados volcánicos epiclásticos, cubiertos parcialmente por derrames de cenizas riolíticas a riolíticas. Las unidades volcánicas están inclinadas fuertemente en direcciones al azar en el área de Punta Coyotes, mientras que más cerca de La Paz tienden a formar cuestas suavemente inclinadas (10-12° NW). Con base en la distribución de las facies volcánicas y en argumentos geomorfológicos se propone que las fuentes volcánicas se encontraban al nororiente de La Paz, alguna(s) quizá dentro de Punta Coyotes.

Las rocas post-volcanismo son conglomerados polimícticos de origen aluvial. Existen evidencias de que el basamento fue reexposado antes de que se depositaran las últimas unidades volcánicas.

Puede documentarse al menos dos periodos mayores de fallamiento en el área: uno de edad cretácica y otro que comenzó durante el periodo "Pre-volcánico" y se prolonga hasta nuestros días. La dirección general de las principales fallas en ambos periodos es NNW. También existe otro juego conspicuo de fallas con rumbo WNW que cuantitativamente se cree que es de menor importancia.

La secuencia de eventos geológicos se interpreta de la siguiente forma: sedimentación (pre-K) → orogenia acompañada de metamorfismo regional y emplazamiento de plutones íntectónicos → fallamiento y deformación milonítica → emplazamiento del batolito granítico (K-Tardío) → levantamiento-denudación → sedimentación en un medio ambiente continental → volcanismo → erosión-denudación. El segundo periodo de fallamiento comenzó durante el depósito de las areniscas continentales y continúa hasta nuestros días.

### ABSTRACT

The mapped area is located in the immediate vicinity of La Paz, State of Baja California Sur. The rocks that crop out range in age from middle Cretaceous to Holocene (?). In the eastern portion, the basement is exposed and it is composed of foliated tonalite and granodiorite, calcareous metasediments, an apparently undeformed but tilted layered gabbroic intrusion and a large granitic (*sensu lato*) batholith. The NW portion of the mapped area is covered by Cenozoic rocks which were informally divided into three groups named pre-volcanic, volcano-sedimentary and post-volcanic, as volcanism is one of the most prominent geologic events in the study area. The pre-volcanic rocks are arkosic sandstones of continental (eolian?) origin and unknown age. The volcano-sedimentary rocks (Miocene) were informally divided into seven units which include flows, pyroclastic and epiclastic volcanic rocks. The most common rock in the northern part of the area are poorly to distinctively bedded, monolithologic basaltic breccias which are almost unsorted. In the southeastern part of the area the most abundant rocks are re-worked volcaniclastic conglomerates partially covered by rhyodacitic and rhyolitic ash flow tuffs and flows.

The volcanic units dip steeply and have almost random strikes on the Punta Coyotes area, while closer to La Paz tend to form gently inclined cuestas, dipping (10-12°) toward the NW. Based on the distribution of the volcanic facies and on geomorphological arguments it is proposed that the volcanic sources were NE of La Paz, perhaps some of them on Punta Coyotes. The post-volcanic rocks are polymictic conglomerates of alluvial origin. There is evidence that the basement was re-exposed before the final volcanic beds were deposited.

At least two major periods of faulting can be substantiated in the area: one of middle Cretaceous age and one that began during the "Pre-volcanic" period and continues to be active to the present day. The general trend of the major faults of both ages is NNW. Another conspicuous set of faults also exists. It trends WNW and it is believed that it is quantitatively of minor importance.

This sequence of geologic events as we interpreted is: sedimentation (pre-Cretaceous) → deformation accompa-

<sup>1</sup> Instituto de Geología, Universidad Nacional Autónoma de México, Estación Regional del Centro, Apdo. Postal 376, 36000 Guanajuato, Gto.

<sup>2</sup> CIDI, Universidad Autónoma de Baja California Sur, 23000 La Paz, B.C.

nied by regional metamorphism and intrusion of syntectonic plutons → faulting and mylonitic deformation → emplacement of a granitic batholith (Late Cretaceous) → uplift and unroofing → sedimentation in a continental environment → volcanism and erosion. The second period of faulting began during the deposition of the continental sandstones and continua to the present day.

## INTRODUCCION

La Universidad Autonoma de Baja California Sur, a través del Centro Interdisciplinario de Investigacion y del Departamento de Geología Marina ha emprendido una serie de estudios geológicos de reconocimiento en la región meridional de la Península de Baja California. El presente artículo constituye el primer avance de este proyecto.

Se considera que el reconocimiento geológico de la región es de gran importancia, ya que en la actualidad se carece de información que permita evaluar el potencial geohidrológico y minero de la zona y conocer detalladamente la evolución geológica del área.

## OBJETIVOS

En los alrededores de La Paz, en Punta Coyotes y en la Isla Espíritu Santo afloran rocas volcánicas y volcánoclasticas (epiclasticas) del Mioceno (Hausback, 1984). Sin embargo, hasta la fecha no se ha publicado estudio alguno acerca de ellas (*cf.* Antecedentes). En los mapas geológicos regionales (Altamirano, 1970 y DEGETENAL, 1980) estas rocas están señaladas como una sola unidad: Formación Comondu (Altamirano, *op. cit.*) y/o como areniscas del Mioceno [Tm (ar)] en el mapa de DEGETENAL (*op. cit.*).

Este estudio se ha realizado con el fin de: 1) establecer unidades informales dentro del paquete formado por rocas volcánicas y sedimentos volcánoclasticos, 2) definir las relaciones estructurales e 3) inferir la historia geológica (Neógeno-Holoceno principalmente) de la región.

## ANTECEDENTES

Existe alguna información de carácter general y razonablemente moderna acerca del área. Mina-Uhink (1957) y Lozano-Romen (1975) realizaron reconocimientos geológicos con el fin de evaluar las posibilidades petrolíferas de la península. Allison (1964) publicó un bosquejo sobre la geología del área que rodea al Golfo de California y Rusnak y Fisher (1964) esbozaron la evolución estructural e histórica de dicha región. Recientemente Angelier y colaboradores (1981) hicieron una interpretación de la evolución estructural (Neógeno-Reciente) de la península, basada en estudios detallados principalmente de la región de Santa Rosalía, complementados con observaciones de otras localidades de la península.

Consideramos como antecedente del presente estudio al trabajo de Altamirano (1970) acerca de la exploración geológico-minera de oro y plata al sur de La Paz; además, Altamirano realizó una serie de mapas fotogeológicos a la escala de 1:100,000 (ineditos) para el Consejo de Recursos Minerales (Mexico).

Hausback (1983) publicó un resumen sobre el origen del Derrame de Providencia, que aflora en los alrededores de La Paz y que al parecer es la unidad volcánica más joven de la llamada Formación Comondu en esta área (Altamirano, 1970).

Cuando se inició la presente investigación (1982) solamente existían los artículos mencionados arriba y cuando el manuscrito de este artículo se estaba terminando apareció el artículo de Hausback (1984), en el que incluyó una columna estratigráfica de Punta Coyotes, un mapa geológico a la escala de 1:250,000 y referencias frecuentes de las rocas que afloran en el área estudiada, comparándolas con las que se encuentran en las Islas Espíritu Santo y La Partida, en San Juan de la Costa y en otras áreas más septentrionales. Muchas de las conclusiones de Hausback coinciden con las nuestras (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, 1984). Sin embargo, existen algunas diferencias significativas en el mapa geológico, así como en el contenido del reporte. El artículo de Hausback contiene abundantes fechas radiométricas y datos químicos y aunque carece de descripciones pormenorizadas de las unidades litológicas aflorantes, lo consideramos complementario del presente artículo y remitimos al lector a él. Finalmente señalamos que Hausback da algunos nombres a las unidades informales en que dividió el ensamble volcánico de Punta Coyotes; sin embargo, no las describe y por ello se decidió dejar sin modificación la versión original del presente artículo.

## METODO DE TRABAJO

Para la elaboración del presente estudio se contó con fotografías aéreas verticales a la escala de 1:50,000, en blanco y negro. También se utilizaron los mapas topográficos provisionales (La Paz G-12-D-83, sin fecha; y El Coyote G-12-D-73, sin fecha) elaborados por DEGETENAL.

La primera fase del trabajo de gabinete consistió en la interpretación geológica de las fotografías con ayuda de un estereoscopio de espejos. Con base en esto, se programaron caminamientos para verificar los resultados obtenidos en el laboratorio, durante el trabajo de campo se recolectó información litológica, estratigráfica y estructural.

Una vez realizada la verificación de campo, se reinterpretaron las fotografías aéreas y los datos obtenidos se vaciaron en los mapas topográficos.

## LOCALIZACION Y VIAS DE COMUNICACION

En el área de estudio se localiza la ciudad de La Paz, capital de Baja California Sur. El área cartografiada está delimitada aproximadamente, por los paralelos 24°07' y 24°22' N y los meridianos 110°10' y 110°20' W. La superficie cubierta es aproximadamente de 120 km<sup>2</sup>.

Puesto que las hojas topográficas provisionales de DEGETENAL carecen de toponimia se incluye un mapa (Figura 1) en el que se señalan algunas de las localidades mencionadas a lo largo de este estudio. Una parte de la nomenclatura proviene de la carta topográfica La Paz, escala 1:250,000 (DEGETENAL, sin fecha), otra se obtuvo directamente de los pobladores de la región y a otras localidades se les dio un número, por medio del cual se citan en el texto.

El acceso a algunas partes del área (Figura 1) se logra

a través de las carreteras pavimentadas La Paz-Cabo San Lucas (Carretera Federal Núm. 1), La Paz-San Juan de los Planes y La Paz-Pichilingue (Loc. 9). Otras áreas están unidas por caminos de terracería como Pichilingue (Loc. 9) con Balandra (Loc. 10) y El Tecolote (Loc. 11); no obstante, son transitables fácilmente durante todo el año. Las rancherías MB (Loc. 18), Las Cruces (Loc. 20), y Los Estradas, situadas en el sureste del área, están comunicadas por caminos de brecha, por lo cual es recomendable utilizar vehículos de rodada alta y/o tracción doble.

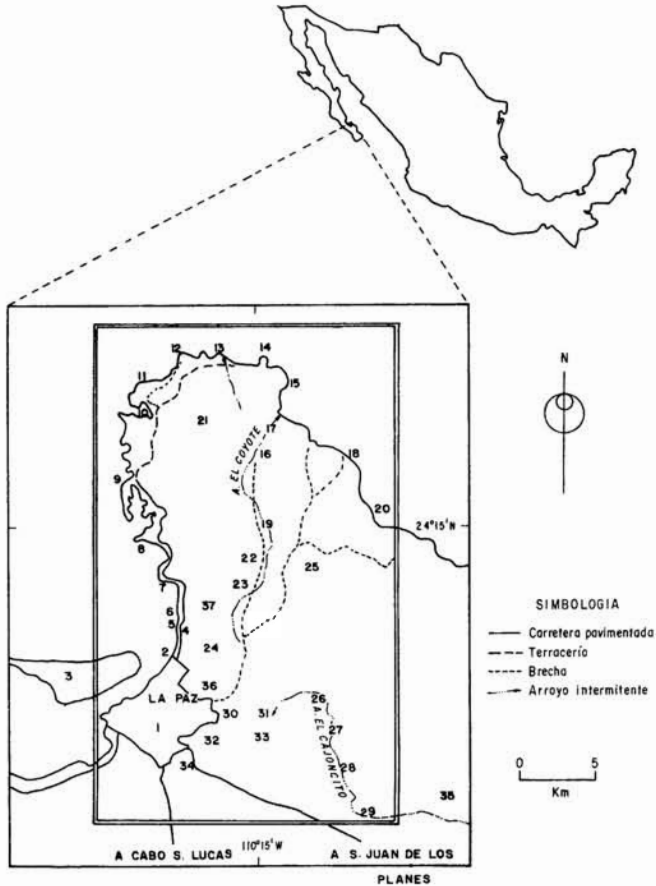


Figura 1.— Localización e índice de localidades citadas en el texto. 1. La Paz. 2. Colina del Sol. 3. El Mogote. 4. C. Las Calaveras. 5. Coromuel. 6. El Caimancito. 7. Punta Prieta. 8. Punta Colorada. 9. Pichilingue. 10. Balandra. 11. El Tecolote. 12. Punta Calecita. 13. Punta Arranca Cabellos. 14. Punta El Pulguero. 15. Punta Coyotes. 16. Rancho El Coyote. 17. Salinas. 18. Rancho MB. 19. Rancho Los Estradas. 20. Las Cruces. 21. C. El Rosario. 22. C. El Indio. 23. C. Las Torres. 24. Laguna Los Patos. 25. Rancho Las Vinoramas. 26. Ranchos El Cajoncito y Las Tablitas. 27. Rancho El Palmerito. 28. Rancho La Palmilla. 29. Rancho La Buena Mujer. 30. C. El Orégano. 31. C. El Engaño. 32. C. Atravesado. 33. C. El Chichonal. 34. C. El Piojillo. 35. C. El Puerto. 36. C. El Panteón. 37. C. Las Microondas.

#### FISIOGRAFÍA

La región estudiada está ubicada en la Provincia de las Sierras de Baja California (López-Ramos, 1980) y de acuerdo con la nomenclatura de Mina-Uhink (1957) está incluida en

porciones de las siguientes regiones: Istmo de La Paz, La Giganta y Los Cabos.

El estudio de imágenes de satélite, mapas topográficos a la escala de 1:250,000 (DEGETENAL, Carta topográfica La Paz, sin fecha), mapas geológicos a escala de 1:1,000,000 (DEGETENAL, 1980) así como las conclusiones obtenidas por Flores y colaboradores (en preparación) permitieron apreciar con mayor claridad las relaciones fisiográficas resumidas por López-Ramos (*op. cit.*) y Mina-Uhink (*op. cit.*).

Cerca de La Paz existe una franja con orientación aproximada N-S, que constituye una frontera fisiográfica y geológica que divide en dos porciones la región meridional de la península, a esta frontera se le ha dado el nombre de "Falla de La Paz" (Normark y Curry, 1968). La franja corresponde burdamente al Valle de La Paz. Hacia el norponiente de este valle existe una región en la que aflora un grueso paquete de rocas volcánicas y sedimentarias del Cenozoico (DEGETENAL, carta geológica La Paz, 1980). Según información proporcionada por Frizzell y Ort al suroriente del mismo valle hay una zona en la que predominan afloramientos de rocas cristalinas de edades radiométricas aparentes, correspondientes al Cretácico y cubiertas parcialmente por sedimentos del Cenozoico.

La morfología de estas dos grandes regiones es radicalmente distinta. En la primera región se observa la Sierra de La Giganta, que de occidente hacia el oriente, está formada por una serie de montañas de cima casi plana y suavemente inclinada hacia el occidente; es posible que esta morfología sea la expresión topográfica de un basculamiento por fallamiento, de una flexión de tipo monoclinal o de inclinaciones primarias debidas al relieve volcánico desarrollado durante el Terciario tardío. En la región cercana al Golfo de California el paisaje varía, aquí predominan pendientes muy fuertes, por lo que todo el drenaje es hacia el Golfo de California.

En la segunda región, al sureste de La Paz, los rasgos fisiográficos dominantes son un conjunto de sierras que tienen una orientación aproximada N-S y que alcanzan una altitud considerable (2,090 m en el Picacho de La Laguna). A ambos lados de estas sierras cristalinas existen amplios valles, rellenos parcialmente de aluvión y/o rocas sedimentarias del Terciario. En la parte septentrional de esta región se encuentran —al poniente de las Sierras de La Paz, Las Cruces y El Novillo— el Valle de La Paz y hacia el oriente el Valle de San Juan de los Planes. Más hacia el sur y al oriente de las Sierras de La Laguna y de La Victoria se encuentra el Valle de Miraflores-San José del Cabo. Este valle está limitado, al oriente, por la Sierra de La Trinidad. Esta alternancia de sierras y valles se ha interpretado como una secuencia de pilares y fosas tectónicas (Pantoja-Alor y Carrillo-Bravo, 1966; Lozano-Romen, 1975).

El área estudiada está localizada cerca de la frontera fisiográfica y geológica mencionada arriba y, por lo tanto, es transicional entre ambas regiones. Teniendo esto en cuenta la hemos dividido en cuatro zonas (Figura 2), cada una de las cuales presenta rasgos fisiográficos característicos. En la zona I afloran rocas volcánicas y volcanoclásticas del Terciario medio (Hausback, 1983), por lo que tiene algunas de las características observadas en la Sierra de La Giganta. Vista con detalle esta zona puede subdividirse en tres subzonas, que se han designado Ia, Ib y Ic (Figura 2).

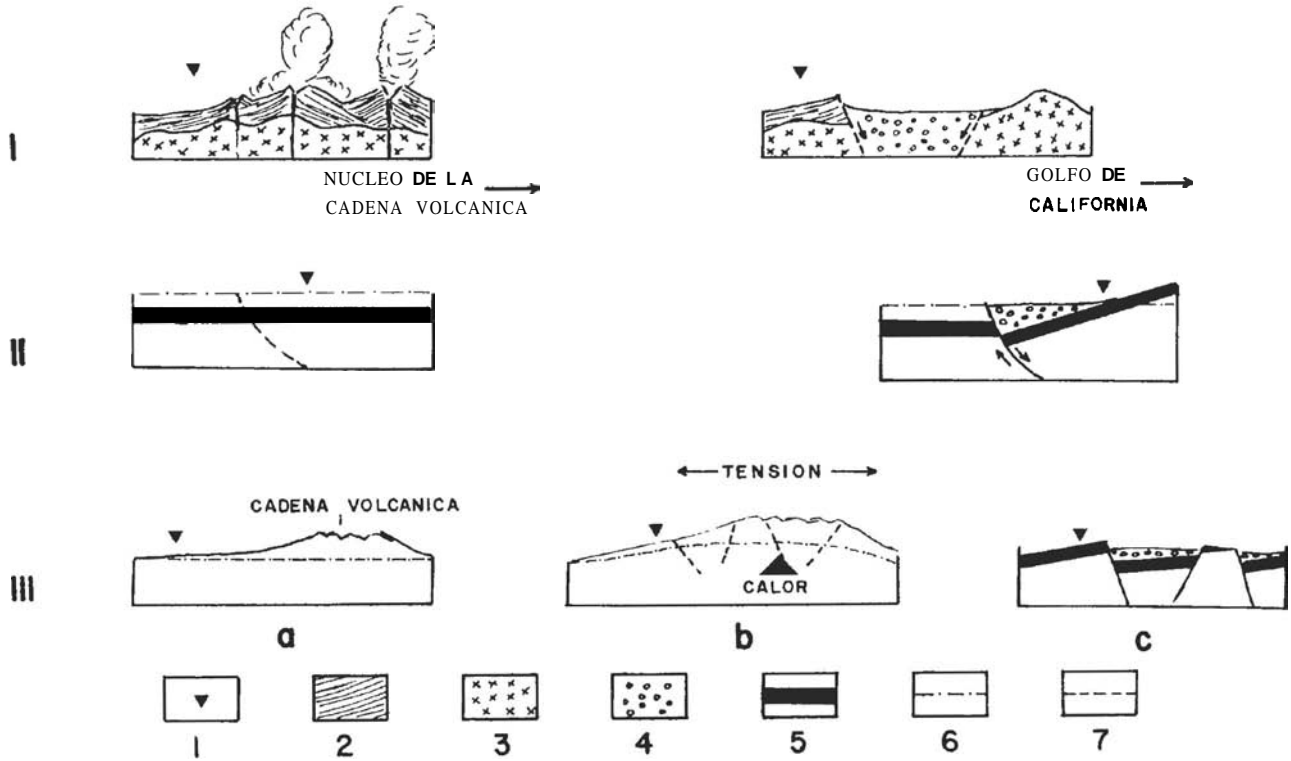


Figura 18.— Hipotesis acerca del origen de la **inclinación** en las rocas **volcánicas**. I. La **inclinación** en las rocas **volcánicas** es primaria; el núcleo de la cadena volcánica se encontraba al oriente de La Paz. II. Las capas volcánicas se depositaron **semihorizontalmente**; la inclinación es producto de basculamiento debido a rotación de bloques a causa de **planos** de falla curvos. III. a. La situación **geográfica** de La Paz se encontraba en la parte **distal** del campo volcánico. b. Durante las primeras etapas de apertura del Golfo hubo un gran influjo calorífico proveniente del manto, lo que causó un **combamiento** de toda la región y c. Situación actual. Clave: 1. Localidad equivalente a La Paz. 2. Rocas volcánicas. 3. Complejo cristalino. 4. Relleno aluvial. 5. Horizonte sub-horizontal. 6. Línea de referencia. 7. Planos potenciales de falla.

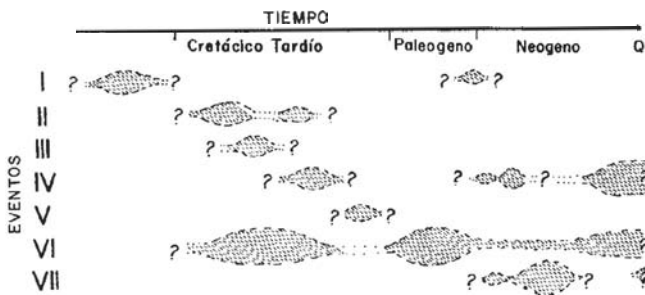


Figura 19.— Resumen de la historia **geológica** del breca. Los eventos **geológicos** son representados por las **áreas sombreadas**. El espesor del área representa la intensidad relativa. Las interrogaciones y **líneas** punteadas indican incertidumbre. Eventos: I. Sedimentación. II. Metamorfismo. III. Intrusión de rocas intermedias. IV. **Fallamiento**. V. Intrusión del "Granito Sierra de Las Cruces". VI. Levantamiento y denudación. VII. Volcanismo terciario, posiblemente seguido de volcanismo relacionado a la apertura del Golfo (?).

Existe evidencia de que para el tiempo en que se estaban depositando las areniscas **eólicas**, un nuevo **período** de fallamiento de tipo normal había comenzado a afectar a la región (Figura 20).

Las primeras evidencias de volcanismo están registradas en el "Complejo volcánico basal", el cual contiene **ignimbritas**, tobas felsicas depositadas por el aire y otras rocas

volcánicas. Al parecer el área que aportaba las areniscas **arcólicas** aun se hallaba expuesta en **ese** tiempo, ya que es común encontrar **interdigitaciones** de este material en las rocas volcánicas del "Complejo volcánico basal".

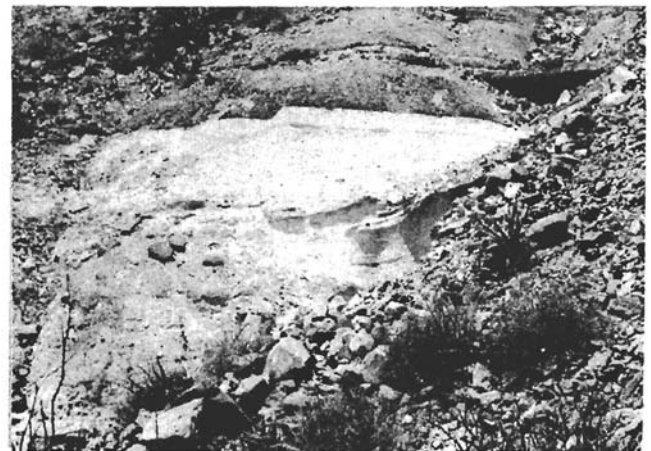


Figura 20.— **Pequeñas** fallas **intraformacionales** dentro de la "Arenisca roja". Notense **los** pequeños desplazamientos en ciertas capas, mientras que otras son continuas. Esto es interpretado como evidencia de que el período de **tectónica extensional** comenzó antes que el volcanismo.

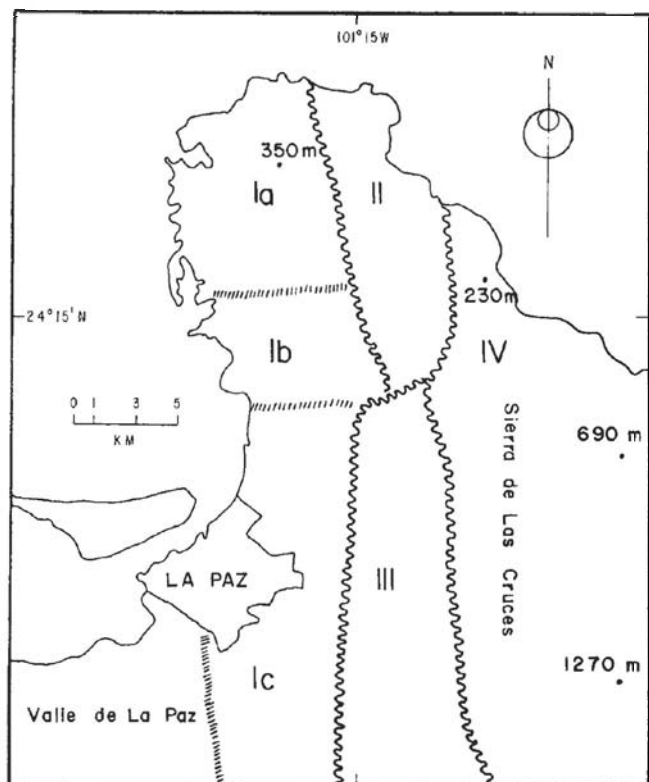


Figura 2.— Unidades fisiográficas del Brea. De acuerdo con sus características, el área puede ser dividida en cuatro zonas distintas. La zona I puede a su vez ser fraccionada en las subzonas a, b, c. (Véase texto).

La subzona Ia se caracteriza por una topografía abrupta (Figura 3) producida por la actividad volcánica del Terciario medio; posteriormente, fue modificada por procesos exógenos de erosión fluvial y marina. En esta zona predominan brechas volcánicas monolíticas, sin clasificación y con una estratificación burda. Las inclinaciones de las capas llegan a tener ángulos superiores a los  $45^\circ$  de un lugar a otro (Fi-

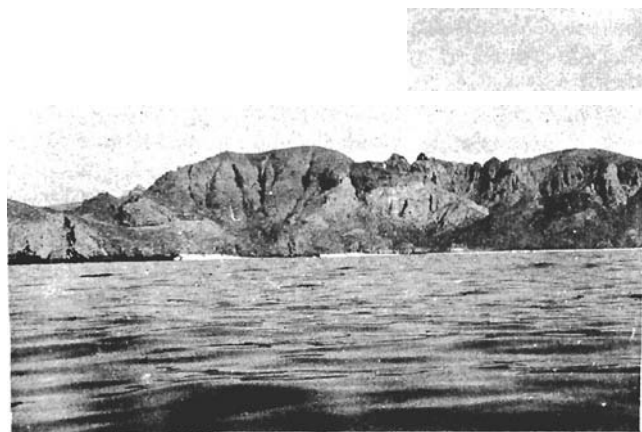


Figura 3.— Vista panorámica de la porción septentrional de Punta Coyotes. Se puede apreciar claramente la topografía abrupta que caracteriza a la región Ia.

gura 4). En algunos sitios se observan elementos morfológicos que pueden interpretarse como edificios volcánicos (pequeños estratovolcanes y/o conos cineríticos) destruidos parcialmente por la erosión y fallamiento. La altura máxima en el área es de 350 m (Loc. 21) y con cierta frecuencia se encuentran cantiles casi verticales con depósitos extensos de talud en sus bases.

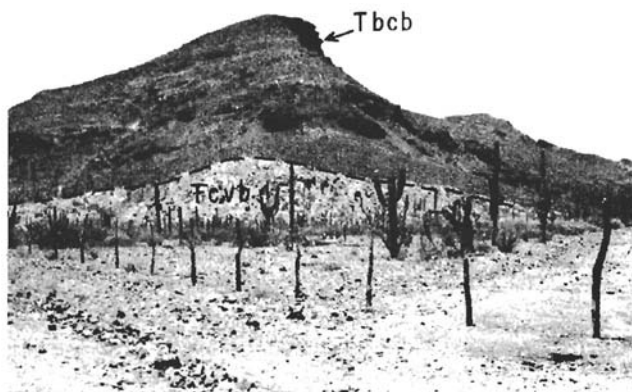


Figura 4.— En la subzona Ia predominan los afloramientos de brechas volcánicas con inclinaciones considerablemente fuertes. En la base de la colina se observa el contacto entre la "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" (Tbc) y un derrame de cenizas pertenecientes al "Complejo volcánico basal" (Tcvb).

La subzona Ib también está dominada por un relieve producido por la actividad volcánica y la erosión fluvial. Esta subzona puede considerarse transicional entre Ia y Ic, puesto que presenta características afines con ambas. Vista panorámica desde el rancho de Los Estradas (Loc. 19), la sierra semeja una plataforma amplia compuesta por una secuencia de rocas piroclásticas y volcánicas, inclinada suavemente hacia el occidente (Figura 5). Sin embargo, esta área no tiene las cimas planas, característica de Ic, debido a la ausencia del derrame formado por la "Riodacita Providencia" (Hausback, 1983), que es altamente resistente a la erosión, y a la presencia de algunas brechas volcánicas características de la subzona Ia.

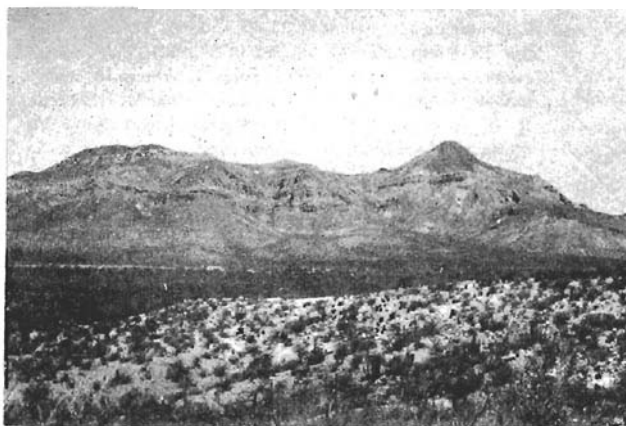


Figura 5.— Vista panorámica de la porción suroriental de la subzona Ib.

En los alrededores de La Paz aflora la "Riodacita Providencia" (Hausback, 1983) que corona toda la secuencia volcanica del Terciario medio en el area. Esta unidad riodacitica tiende a formar colinas de cimas planas, inclinadas suavemente hacia el poniente (Figura 6). Se piensa que estas colinas son restos de erosion de lo que alguna vez fue una plataforma continua. La pendiente de estas superficies puede ser primaria, debido a las inclinaciones originales de las unidades volcanicas, puesto que se supone que la mayor parte de las fuentes estuvo localizada cerca de la margen occidental del Golfo de California (Rusnak y Fisher, 1964); o bien, puede ser el resultado del basculamiento originado por fallamiento o de un combamiento de caracter regional de la corteza terrestre (*vid. infra*, p. 14 y siguientes).



Figura 6.— Panorámica de la subzona Ic tomada desde la localidad 36 viendo hacia el sur. Observese el derrame formado por la "Riodacita Providencia" (Tdp), coronando a las colinas de cima plana.

El limite entre las zonas I y II es visible claramente tanto en el campo como en las fotografias aereas. El contraste morfologico se debe a la litologia de las unidades que *subyacen* a ambas regiones. En la zona II afloran conglomerados y arenisca que originan *lomeríos* bajos y redondeados, con una altura promedio no mayor de 100 m.s.n.m. Aqui la red de drenaje es notablemente mas densa que en la I y presenta un patron dendritico identificable facilmente. La frontera que separa a la zona I de la II es recta y abrupta, por lo que se supone se trata de una falla. La orientacion general de la estructura es burdamente paralela a la supuesta "Falla de La Paz" mencionada arriba.

La zona III está formada por terreno inclinado suavemente hacia el eje del Valle de La Paz y desprovisto de accidentes topograficos sobresalientes. El limite entre esta zona (III) y el Valle de La Paz se hace más difuso conforme se aleja uno de La Paz hacia el sur, ya que gradualmente desaparecen las colinas caracteristicas de la subzona Ic. En la zona III los afloramientos del lecho rocoso son escasos o inexistentes. El estudio de las fotografias aereas y de los materiales que lo constituyen demuestra que esta formada por una serie de abanicos aluviales que se interdigitan. En su porcion septentrional la parte activa del abanico *aluvial* del Arroyo del Cajoncito, uno de los cauces principales de la Sierra de Las Cruces, es visible claramente en las fotografias aereas. Esta zona esta des-

provista de arroyos y durante las grandes avenidas es el area donde se deposita una buena parte del material que acarrea el arroyo. En la porcion meridional de la zona III existen numerosos arroyos trenzados que disectan secciones abandonadas o menos activas de los abanicos aluviales.

La zona IV esta ocupada por la Sierra de Las Cruces y sus estribaciones septentrionales. La altura aumenta gradualmente desde el Golfo de California hasta alcanzar un maximo (1,270 m.s.n.m.) en el Cerro El Puerto (Loc. 35). El patron de drenaje es el caracteristico de rocas cristalinas (enrejado y/o rectangular). Se considera que esta fuertemente influenciado por los juegos de fracturas que cortan a las rocas graniticas (Figuras 7 y 8). Se supone que esta sierra fue formada por fallamiento de bloques y constituye un pilar tectonico.

## ESTRATIGRAFIA

De acuerdo con datos proporcionados por Frizzeil y Ort en el area estudiada afloran rocas igneas intrusivas y metamorficas de edad cretácica, así como rocas volcanicas del Terciario medio (Hausback, 1983) y rocas sedimentarias (¿Terciario medio y Cuaternario?). Volumetricamente, las rocas mas importantes (Figura 7) son las volcanicas, así como los sedimentos derivados de ellas. Altamirano (1970) clasifico estas rocas como Formacion Comondú.

El nombre de Comondu se emplea en Baja California para designar a cualquier roca volcanica y/o volcanoclastica del Terciario medio. Sin embargo, existe la certeza de que las rocas calificadas como Formacion o Grupo Comondu difieren grandemente en litologia y edad de un lugar a otro (vease discusion en: Gastil *et al.*, 1975, p. 59-62 y en Sawlan y Smith, 1984); por ello, evitamos, hasta donde fue posible, utilizar dichos nombres en el presente estudio y dividimos informalmente la secuencia volcanosedimentaria que aflora en Punta Coyotes en varias unidades litoestratigraficas y/o litodemicas (Comision Norteamericana de Nomenclatura Estratigrafica, 1984).

El area es estructuralmente compleja. En ella se han reconocido falla.. en las rocas del basamento que producen una marcada estructura de derrame (foliacion milonitica) y fallas mas recientes que afectan tanto al basamento como a las rocas cenozoicas y que producen rocas cataclasticas sin cohesion primaria.

## SISTEMA CRETACICO

"*Tonalita La Buena Mujer*" (Kbm).—Las rocas mas antiguas que afloran en el area estudiada pertenecen a lo que se ha llamado "Complejo Cristalino de La Paz" (Ortega-Gutierrez, 1982) o "basamento" (Aranda-Gomez, 1982). Estas rocas afloran en la Sierra de Las Cruces y en una serie de *lomeríos* bajos situados en sus estribaciones occidentales. En el area se logro reconocer intrusivos metamorfoseados de composicion tonalitica y granodioritica. Tambien afloran granitos (*sensu lato*), rocas gabroicas sin deformacion aparente y metasedimentos.

Se observo ortogneises en las lomas situadas al poniente del Arroyo del Cajoncito, cerca de los ranchos El Palmerito, La Palmilla y La Buena Mujer (Locs. 26-29). Estas rocas son semejantes megascopicamente a los intrusivos granodioriticos

y/o tonalíticos que afloran en la ladera occidental de las Sierras de La Laguna y La Victoria en la region de Todos Santos (Aranda-Gomez, 1982). Los rasgos mas distintivos en los afloramientos son el color gris medio a gris oscuro, la foliacion y lineacion que varia de perceptible a excelente, la presencia ocasional de abundantes xenolitos (¿o autolitos?) y en algunos lugares una exfoliacion esferica que intempenza la roca de manera caracteristica.

Se estudio en el microscopio dos muestras de estos intrusivos. La primera es un gneis milonitico (Higgins, 1971) de composicion tonalitica formada por andesitas ( $An_{35}$ ), cuarzo, biotita (alterada parcialmente a **clorita**) hornblenda verde y feldespato potasico (ortoclasa). Se encontro como minerales accesorios minerales opacos, esfena, **zircón** y apatita. La composicion modal de la roca, obtenida por medio de un conteo

de puntos ( $n = 1,935$ ), es la siguiente: andesina **48.6%**, cuarzo 16.8%, ortoclasa 2%, hornblenda 16.9%, biotita 14.0% y esfena 1.8%.

En la segunda muestra la ortoclasa es mas abundante y el cuarzo se presenta en grandes cristales anhedrales con extincion ondulatoria fuerte. Se encontro biotita y hornblenda en una proporcion de 1:1 como en las tonalitas, **sólo** que el indice de color de la roca es menor. La composicion modal ( $n = 1,385$ ) es: oligoclasa **44.3%**, cuarzo **15.7%**, feldespato potasico 18.2%, hornblenda 6.6% y biotita 5.2%. Se encontro como **minerales** accesorios, esfena, ilmenita, zircon y **apatita**. Por sus **caracteristicas mineralógicas y texturales** (porfidoclastos ~ 40%, matriz recristalizada ~ 60%, estructura de flujo y cohesion primaria), la roca fue clasificada como un gneis milonitico de composicion granodioritica.

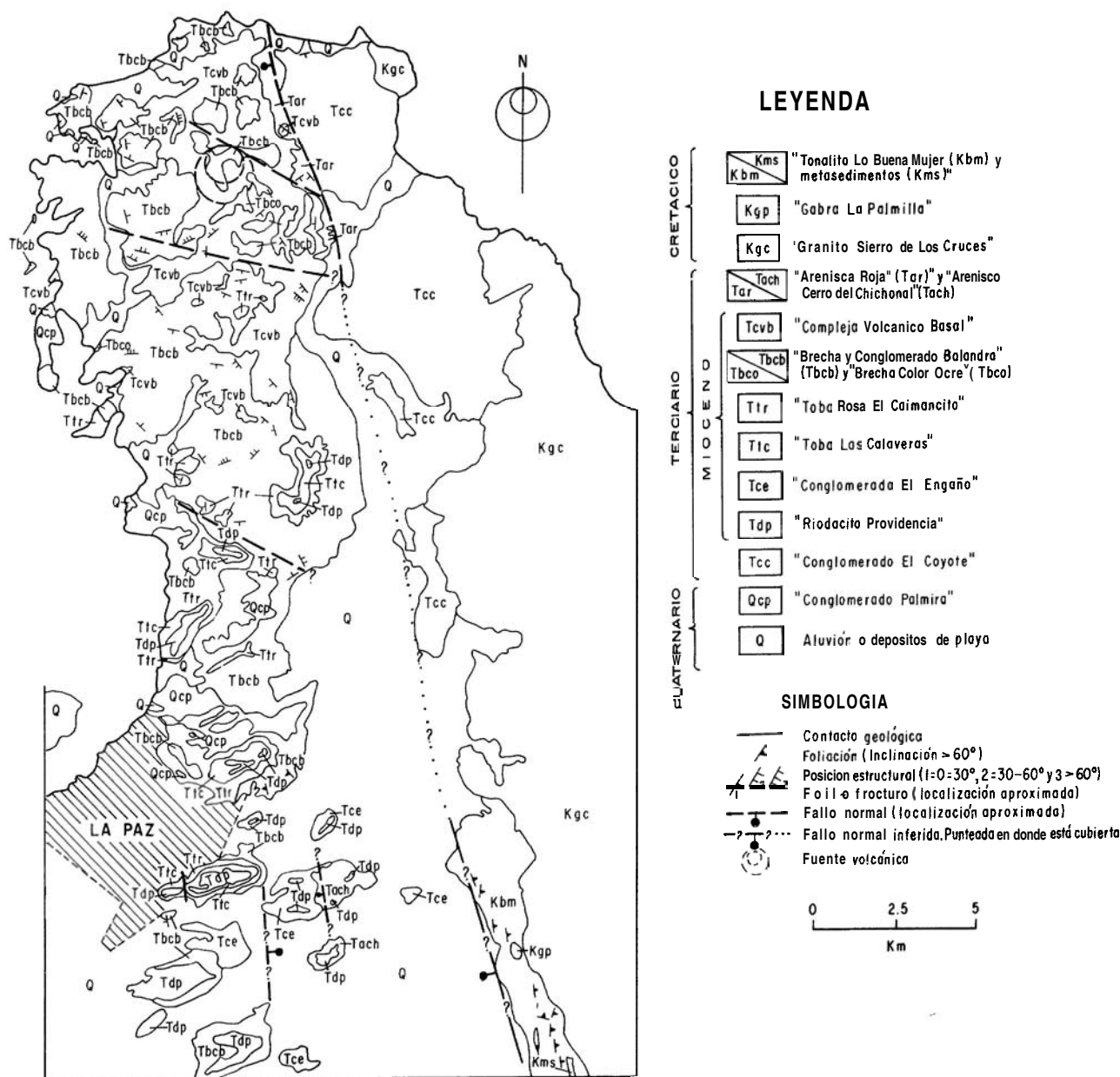


Figura 7.— Mapa geológico de Punta Covotes.



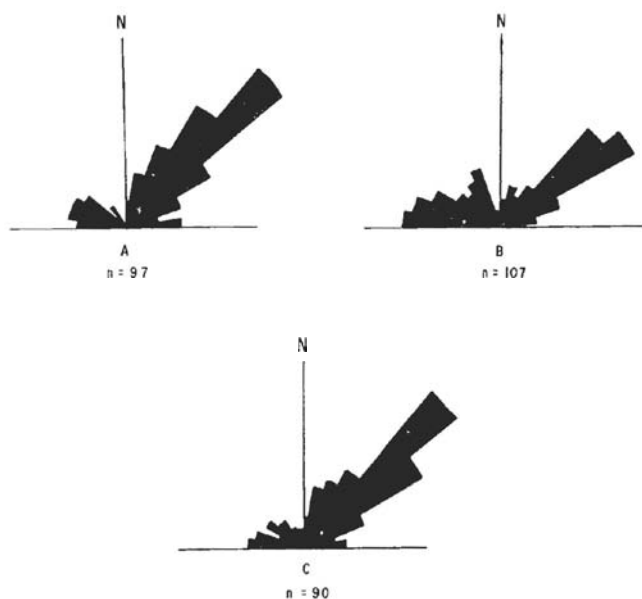


Figura 8.— Rosetas que muestran el rumbo de las fracturas semiverticales ( $> 70^\circ$ ) en las rocas plutónicas del complejo cristalino. A. Arroyo del Cajoncito cerca del rancho de La Palmilla. B. Arroyo del Cajoncito cerca de los ranchos del Cajoncito y Las Tablitas. C. Cerca del rancho Las Cruces.

Debido a la escasez relativa de afloramientos fue imposible establecer si se trata de dos cuerpos intrusivos distintos o si los ejemplares son de composición distinta dentro de un solo plutón. En la región de Todos Santos se ha observado cambios transicionales que sugieren lo segundo.

A pesar de que los dos ejemplares estudiados en el microscopio muestran evidencias de metamorfismo dinámico mas o menos intenso; no debe considerarse que toda la unidad este compuesta unicamente por gneises miloníticos. Una de las características mas sobresalientes del metamorfismo dinámico es que su intensidad varia notablemente en una distancia corta o aun en un mismo afloramiento o ejemplar de mano. En el área cartografiada como "Tonalita La Buena Mujer" se observo desde rocas ígneas, practicamente sin deformar, hasta gneises miloníticos.

En la Presa de La Buena Mujer, algunos centenares de metros aguas abajo (Loc. 29), se observo dos foliaciones ( $S_1 = N 30^\circ E, 64^\circ SE$  y  $S_2 = N 80^\circ W, 72^\circ NE$ ) que se intersectan con un ángulo grande. Se cree que  $S_1$  puede ser una foliacion primaria (¿protoclástica?) formada por el emplazamiento del plutón o bien que  $S_1$  sea producto de una falla que antecedió al fallamiento que produjo a  $S_2$ . La relación de edades entre las foliaciones se obtuvo porque en  $S_1$  se observo pliegues de arrastre pequeños contiguos a la zona tabular que presenta  $S_2$ , (Figura 9).

En los estudios que estan llevando a cabo Frizzell y Ort han determinado, por medio de K-Ar, la edad aparente de las biotitas en rocas similares provenientes de Todos Santos como  $\sim 95$  Ma.

"*Gabro La Palmilla*" (Kgp).— En las inmediaciones del rancho de La Palmilla (Loc. 28), aflora un cuerpo intrusivo pequeño de composición gabroica. Su característica mas sobresaliente es la pseudoestratificación. Los "estratos" varían desde unos cuantos centímetros hasta bandeamientos ritmi-

cos de menos de un centímetro de espesor. Se observo dentro del cuerpo otras estructuras primarias como canales, diastratificación y pliegues pequeños.

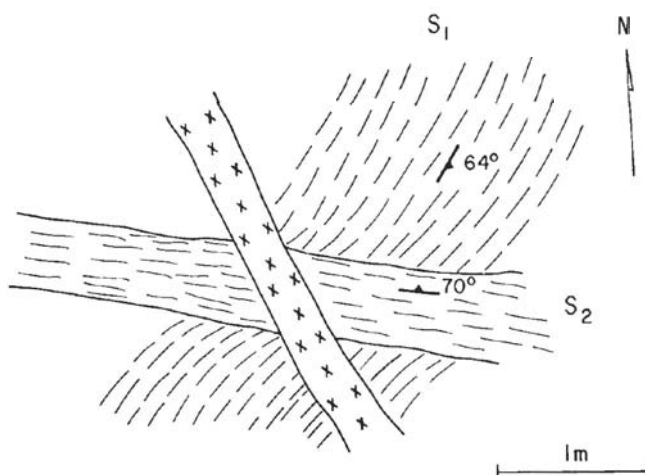


Figura 9.— Diagrama que muestra la relación entre  $S_1$  y  $S_2$ . Ambas foliaciones son cortadas por pequeños diques pegmatíticos sin deformar, que se supone están relacionados genéticamente con el "Granito Sierra de Las Cruces".

Como es de esperarse, la composición y mineralogía de las rocas varia mucho de un lugar a otro y aun dentro de un mismo ejemplar de mano. En términos generales, hacia la cima topográfica del afloramiento, existen abundantes piroxenitas uralitizadas, desde parcial hasta totalmente; en la parte media se observo piroxenitas alternando con gabros; y hacia la base predominan los gabros. La estratificación es E-W;  $80^\circ N$ . Si se acepta la explicación tradicional del origen de la pseudoestratificación en cuerpos intrusivos, es decir, por deposición gravitacional dentro de una cámara magmática (e.g. Hyndman, 1972, p. 231), las inclinaciones fuertes observadas pueden interpretarse como evidencia de que el área sufrió deformación fuerte antes de la extrusión de las rocas volcánicas del Terciario medio (Figura 10).



Figura 10.— Cuerpo gabroico estratificado de La Palmilla. El gabro se presenta como una alternancia de capas máficas y félsicas. El bandeamiento tiene una posición estructural E-W  $80^\circ N$ . Tamarío del afloramiento: 1.5 m.



Se estudio en el microscopio dos muestras de este pluton que difieren tanto en mineralogia como en textura. La primera muestra tiene una textura hipidiomorfa de grano medio y esta formada por un 70-80% de cristales, desde subhedrales hasta euhedrales de labradorita (An, determinado por el metodo de Michel-Levy) y el resto por cristales uralitizados de augita, desde parcial hasta totalmente. Los unicos minerales observados como accesorios fueron oxidos de Fe-Ti.

La segunda muestra esta compuesta por bandas de grano medio, ricas en labradorita con hiperstena intersticial, uralitizada desde parcial hasta totalmente. Estas bandas alternan con estratos ricos en hiperstena de grano medio a grueso, la cual tambien esta alterada fuertemente a anfibola.

En ninguna de las secciones estudiadas en el microscopio ni en el campo, se observo texturas que puedan atribuirse sin ambigüedad a metamorfismo dinamico. Uno de los mejores afloramientos del "Gabro La Palmilla" (Loc. 28) esta cruzado por fracturas delgadas con posicion N 10° E; 82° SE, que es esencialmente paralela a la foliacion de los ortogneises que circundan al gabro. Sin embargo, debido a que los afloramientos son escasos y pobres fue imposible verificar si esta relacion es o no constante a traves del cuerpo.

"Metasedimentos" (Kms). — En la parte suroriental del area estudiada se observo algunos afloramientos de metasedimentos que se encuentran en franjas delgadas de varias decenas de metros de espesor, intercaladas concordantemente con la "Tonalita La Buena Mujer". Estas rocas se observaron sobre el Arroyo del Cajoncito, cerca del rancho de La Buena Mujer (Loc. 29), y en la boquilla de la presa del mismo nombre. Un poco mas al sur, afuera de la zona, tambien afloran metasedimentos sobre la carretera a San Juan de los Planes y los Arroyos de La Huerta y La Matancita.

Megascopica y mineralogicamente estas rocas son similares a las encontradas al sur de Todos Santos. Una muestra recolectada aguas arriba de la localidad 29 esta compuesta por plagioclasa, diopsida, cuarzo, epidota y cantidades pequenas de ortoclasa y opacos. Su textura corresponde a un gneis de color verde y grano fino, con tenue segregacion en bandas. La composicion aproximada de la plagioclasa, determinada por el metodo de Michel-Levy, es  $Ab_{55}$  (andesina).

Otra muestra recolectada en el Arroyo de La Huerta, afuera del area de estudio, esta compuesta por plagioclasa ( $\sim Ab_{55}$ ) cuarzo, biotita, granate y una cantidad pequena de feldespato potasico. En esta roca el granate se presenta como porfidoblastos de hasta medio centimetro de diametro. Otros lugares donde se observo rocas metasedimentarias con granate son en la carretera a San Juan de los Planes y en la boquilla de la Presa de La Buena Mujer.

Los estudios de los metasedimentos de la region de Todos Santos (Aranda-Gomez y Perez-Venzor, en preparacion) demuestran que el gradiente geotermico, bajo el cual se metamorfosearon las rocas de la region, pasaba por debajo del punto triple de los aluminosilicatos ( $Al_2SiO_5$ ), puesto que en algunas metapelitas se presenta la coexistencia de andalucita y/o silimanita. Esto es, el metamorfismo regional en la zona es de temperatura alta y presion relativamente baja ( $\approx 4.5$  kb). Por tanto, se comparo la mineralogia de las muestras con los diagramas parageneticos de metapelitas y metabasitas metamorfoseadas a presion baja de Miyashiro (1973); el resultado de la confrontacion demostro que las rocas en la zona del Cajoncito alcanzaron la parte media de la facies de anfibolita.

"Granito Sierra de Las Cruces" (Kgc). — En una por-

cion amplia de la region suroriental del area, afloran rocas graniticas (*sensu lato*) que, de acuerdo con las relaciones de campo, son mas jovenes que los plutones de composicion basica e intermedia antes descritos. En esta unidad, los trabajos de verificacion en el campo fueron muy reducidos, limitandose a los margenes del Arroyo del Cajoncito, desde el rancho de La Buena Mujer hasta el rancho del Cajoncito (Loc. 26-29).

Las rocas de esta unidad son de color rosa, holocristalinas y de grano medio a grueso. Estan constituidas por cuarzo, feldespato potasico, plagioclasa y biotita. Las rocas pueden clasificarse, por lo general, en equigranulares e hipidiomórficas granulares, aunque hay lugares en que el feldespato potasico forma grandes fenocristales euhedrales, de hasta 3 o 4 cm de longitud, embebidos en una matriz de grano medio a grueso. Cuando esto sucede, los fenocristales constituyen usualmente menos del 5% de la roca. La composicion modal de dos muestras recolectadas cerca de los ranchos del Cajoncito y Las Tablitas es: plagioclasa 56.5 y 50.1%, cuarzo 26.6 y 25.2%, ortoclasa 12.4 y 20.7%, biotita 4.3 y 3.6%, respectivamente. En ambas muestras se observo cantidades pequenas de opacos (*¿magnetita?*) como el unico mineral accesorio. Se trata de granodioritas, de acuerdo con los sistemas de clasificacion de Streckeisen (1976) y el adoptado por Gastil y colaboradores (1975), que se basan exclusivamente en las cantidades relativas de cuarzo, ortoclasa y plagioclasa.

Algunas de las características mas notables de estas rocas graniticas en el campo son: 1) los juegos conspicuos de fracturas conjugadas, con inclinaciones casi verticales ( $\sim 75^\circ$ ) y rumbos de N 50° E y N 60° W (Figura 8), 2) la gran profundidad de la cubierta de intemperismo, lo cual explica que sobre las laderas de los cerros solo se encuentre zonas cubiertas de *grus*, 3) la ausencia aparente de rasgos y texturas atribuibles al metamorfismo dinamico que afecta a otras unidades del complejo cristalino en la region.

En la estacion de aforo, situada a unos cientos de metros aguas arriba del rancho de La Buena Mujer, es posible observar el contacto entre los granitos y la "Tonalita La Buena Mujer". En ese lugar el contacto es por intrusion del granito en la tonalita. Dentro de la roca felsica se observa una zona de enfriamiento (chilled margin) de aproximadamente un metro de espesor, en la cual el tamaño del grano es notablemente mas fino. De manera gradual se pasa a una roca mas tipica de esta unidad con las características señaladas arriba.

Los estudios que estan realizando Frizzell y Ort les han permitido determinar la edad radiometrica de rocas graniticas, similares megascopicamente, recolectadas en Las Cruces y cerca de la localidad 18. Las edades aparentes, obtenidas por el metodo de K-Ar, de biotitas y/o anfibolas oscilan entre 87 y 94 Ma.

"Aplita y Pegmatita". — Todo el complejo cristalino se encuentra cruzado por numerosos diques felsicos. En las rocas foliadas estos son mas conspicuos debido al fuerte contraste del color.

Cerca de la localidad 28 se observó un dique potente ( $\sim 5$  m) de pegmatita granitica compuesto principalmente por feldespato potasico, cuarzo, muscovita, granate y turmalina. Una de sus características mas sobresalientes es el bandeamiento interno, marcado por la concentracion de los minerales que lo constituyen. En ocasiones es posible observar pliegues pequenos adentro del dique. En otros diques se observo una estructura parecida a la estructura de "peine" (comb structure) que es comun en vetas.

Los diques aplíticos se presentan como un conjunto **sub-paralelo**, con rumbos que oscilan entre N 50° W y N 10° W y con inclinaciones de 20 a 40° al SW. El espesor de estos cuerpos varia desde unos cuantos centímetros hasta varios metros. Los diques intrusionan tanto a los granitos como a las rocas intermedias, y se considera que son diferenciados tardíos de las rocas graníticas sin deformar (*i.e.* "Granito Sierra Las Cruces").

#### SISTEMA TERCIARIO

Posiblemente uno de los eventos geológicos más significativos durante el Terciario en el área es el intenso **volcanismo** que dio origen a lo que se le ha dado el nombre de Formación o Grupo Cornodú (Mina, 1957). Una buena porción de las rocas aflorantes en Punta Coyotes está **genéticamente** relacionada con este fenómeno.

Al menos en dos localidades se observó rocas **sedimentarias** que anteceden, aparentemente, a la secuencia **volcanoclástica**, cuyos constituyentes no son de origen volcánico. En la **porción** nororiental del área afloran conglomerados que parecen ser posteriores al volcanismo; por tanto, se dividió a las rocas terciarias en tres grandes grupos: "Rocas Pre-Volcanismo", "Secuencia Volcanosedimentaria" y "Rocas Post-Volcanismo".

**Rocas pre-volcanismo.** — De acuerdo con sus características litológicas se les ha dividido en dos unidades informales; pero ignoramos si estas son o no correlacionables.

"Arenisca roja" (Tar) — Con este nombre se ha designado a una unidad litológica distribuida principalmente en la porción septentrional del área (Figura 4). Se trata de areniscas de color rojo, cuarzofeldespáticas, de grano fino subredondeado y bien seleccionado. Petrográficamente están compuestas por más de un 80% de granos de cuarzo, desde **subangulares** hasta subredondeados, con extinción recta y el resto de sus componentes está formado por fragmentos de **plagioclasa** y feldespato potásico sericitizados y/o caolinizados ligeramente. En general, los granos tienden a estar cubiertos con una capa delgada de óxidos de Fe que le da su color característico a la roca. En la lamina estudiada no se observó minerales ferromagnesianos ni minerales pesados. En los afloramientos las areniscas presentan diastratificación prominente. Los lechos llegan a tener más de 3 m de espesor y presentan laminaciones finas, que en muchos lugares se acentúan por la erosión diferencial (Figura 11). Las rocas varían desde compactas hasta deleznales y es común que presenten concreciones. Ocasionalmente, hacia su cima, contiene lentes pequeños de paraconglomerados con guijas finas de origen volcánico.

Esta unidad se expresa morfológicamente como lomeríos aislados en forma de cuevas y solo se encontró expuesta en la región comprendida entre el rancho de Los Estradas y la Playa de Punta Arranca Cabellos (Locs. 19 y 13).

"Arenisca Cerro del Chichonal" (Tach) — Con este nombre se designa a unas areniscas de grano medio a fino, de color beige a blanco, que afloran en la porción central del área, en el Cerro del Chichonal (Loc. 33). Las areniscas están compuestas, principalmente, por cuarzo y feldespatos, sus granos están bien seleccionados y redondeados desde moderadamente hasta bien. Sus características más notables en los afloramientos son la diastratificación en juegos de 5 m o más de espesor y la presencia de **concreciones** numerosas. En algunos

lugares se observó rocas similares interstratificadas con la "Arenisca roja".

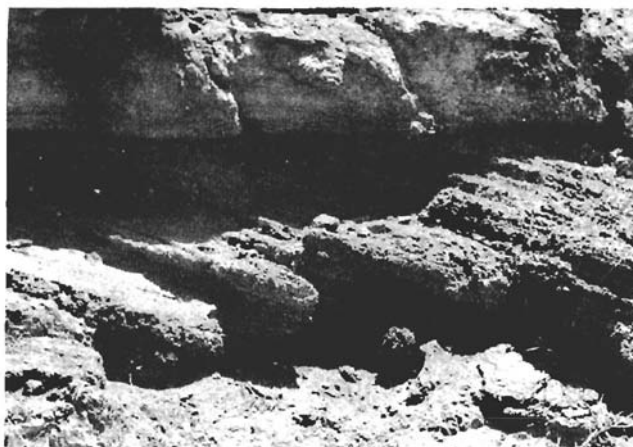


Figura 11. — La "Arenisca roja" (Tar) se presenta en lechos gruesos con diastratificación. Este rasgo se hace más prominente debido a la erosión diferencial.

**Discusión** — Las areniscas descritas arriba subyacen a diversos miembros de la secuencia volcanosedimentaria del área y difieren notablemente de las areniscas volcanoclásticas incluidas en esta. Por sus características litológicas (tamaño de grano, composición mineralógica, redondeamiento y selección de sus granos) y estructurales (espesor de los lechos, presencia de laminaciones y ausencia de fósiles) se cree que pudieron haberse depositado en un medio ambiente continental, predominantemente **eólico**.

En otras regiones de la Península de Baja California se ha descrito rocas sedimentarias **clásticas** depositadas antes del volcanismo del Terciario medio y que corresponden, **fundamentalmente**, a las características litológicas de estas unidades. Por ejemplo, Gastil y colaboradores (1975, p. 50) describieron algunas rocas **pre-Cornodú** como sigue: "Typically, these are clean, quartz-rich, well indurated sandstone beds with siliceous cement. Their more prominent feature is cross bedding, commonly in sets 2 m or more thick. Concretions occur in many places, they are characteristically the shell-in-shell type . . ."

La edad de estas rocas es incierta, ya que en ellas no se ha encontrado fósiles. En otras regiones se les han asignado edades del **Mioceno**, **Eoceno** y **Paleoceno** (Gastil *et al.*, 1975, p. 51).

**Secuencia volcanosedimentaria.** — En el área estudiada esta secuencia dista mucho de ser homogénea y las relaciones estratigráficas de ser simples. De hecho, las columnas estratigráficas, en diversas localidades del área (Figura 12), difieren marcadamente y aunque se han utilizado nombres descriptivos que sugieren correlación entre las columnas, no tiene la certeza de que exista dicha analogía.

La cartografía **geológica** en terrenos volcánicos antiguos presenta problemas especiales. En este caso no es posible utilizar de una manera directa e indiscriminada las leyes estratigráficas que son confiables en el estudio de secuencias sedimentarias. Por ejemplo, el movimiento de lava o de derrames piroclásticos controlado por el patrón de drenaje contemporáneo al volcanismo, aunado a efectos de erosión

diferencial pueden hacer ambigua la aplicación indiscriminada del Principio de Superposición (Williams y McBirney, 1979, p. 317). El Principio de Horizontalidad Original, obviamente, no puede aplicarse a todos los depósitos piroclásticos, ya que muchas veces los materiales tienen un ángulo de reposo

mayor a cero grados. Por tanto, algunas de las unidades informales que aquí se proponen, corresponden a lo que la nueva versión del Código Estratigráfico Norteamericano 1983 (Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1984), llama unidades litodémicas (lithodemic units).

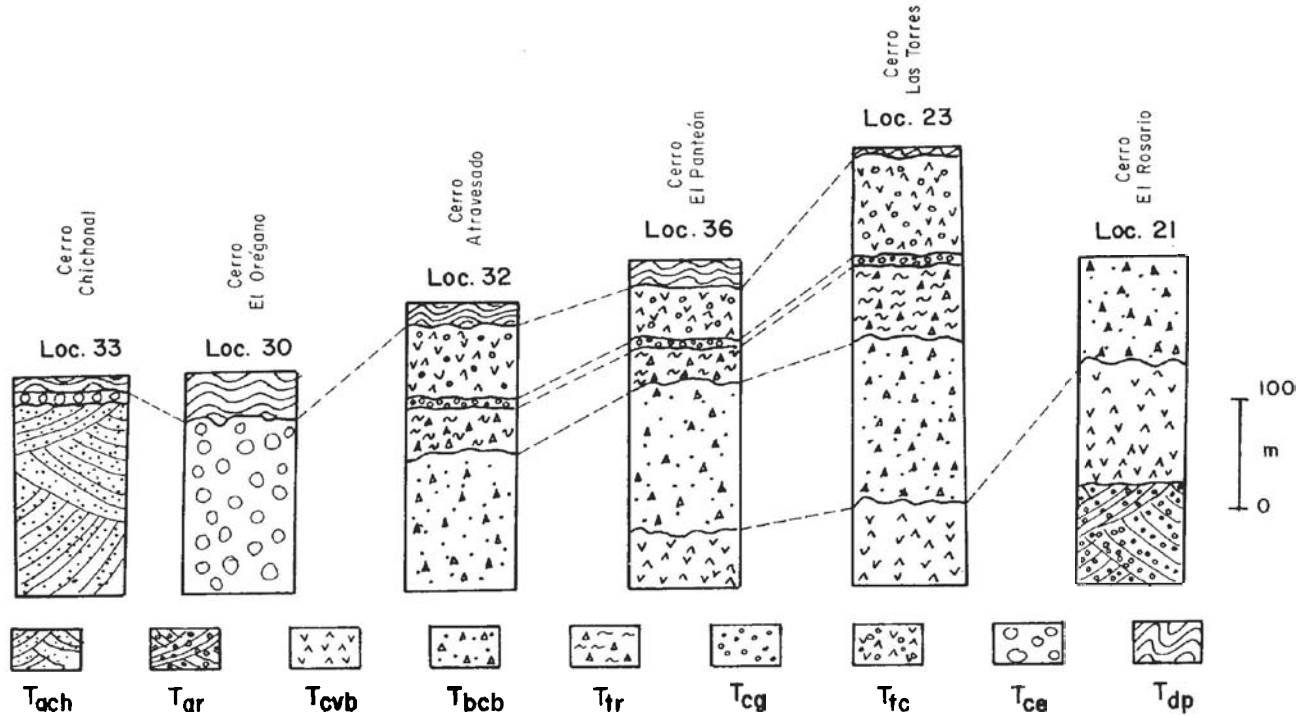


Figura 12.— Columnas litológicas que muestran diagramáticamente las secuencias estratigráficas en distintas localidades del área. Los espesores mostrados no son reales sino que representan metros verticales de afloramiento. Los símbolos (Tach . . .) son los mismos que los utilizados en la Figura 7, excepto Tcg que representa a los conglomerados incluidos en la parte superior de la "Toba rosa El Caimancito"

La secuencia volcanosedimentaria difiere en distintas zonas dentro del área. A nuestro entender no existe una sola capa, o cuerpo de roca, que pueda servir como horizonte índice o marcador a través de toda la región que sugiera la posición que ocupa una unidad determinada en la secuencia. Por este motivo nuestro mapa geológico muestra unidades de roca que fueron separadas con fines más descriptivos que como índices de un lapso determinado.

Posiblemente la única excepción sea la "Riodacita Providencia" (Hausback, 1983) que corona a la secuencia volcánica en los alrededores y al sur de La Paz y que se identifica fácilmente por sus características litológicas y estructurales.

A continuación se describe las unidades mostradas en el mapa geológico (Figura 4) en orden cronológico aparente, de la más antigua a la más reciente.

"Complejo volcánico basal" (Tcvb) — Con este nombre se ha designado a un grupo muy heterogéneo de rocas félsicas a intermedias que son las más antiguas de la porción septentrional del área (Figuras 7, 12 y 13).

En las playas de Punta Arranca Cabellos (Loc. 13), en las bases de los Cerros de El Indio (Loc. 22) y de El Rosario (Loc. 21) y en las cercanías del rancho de Los Estradas (Loc. 19) se les encontró descansando discordantemente sobre la "Arenisca roja" (Tar).

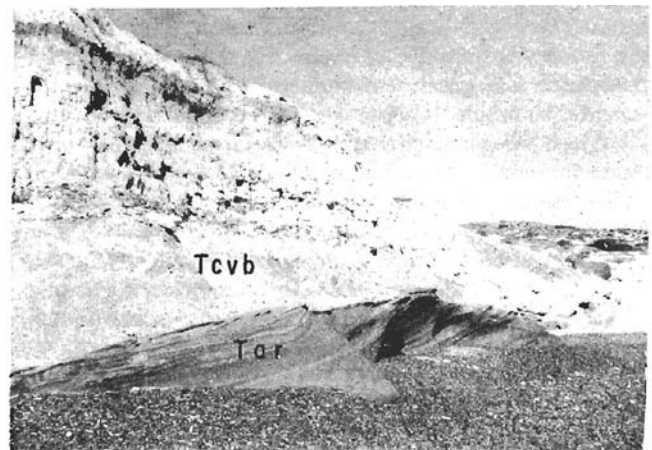


Figura 13.— Afloramiento del "Complejo volcánico basal" (Tcvb) en las playas de Punta Arranca Cabellos (Loc. 13). La unidad sobreyace discordantemente a la "Arenisca roja" (Tar) e incluye rocas piroclásticas y lentes de conglomerados volcánoclasticos.

Dentro de esta secuencia se observó tobas félsicas (riolitas o riodacitas) depositadas por el aire, derrames de cenizas

de la misma composición y escasas capas lenticulares de conglomerados volcánicos heterolíticos compuestos por rocas felsicas e intermedias. Como era de esperarse, la apariencia de estas rocas varía mucho de un afloramiento a otro y esto se acentúa en las cercanías del Sistema de Fallas de El Coyote, debido a la alteración hidrotermal que afecta selectivamente a determinadas rocas o fragmentos de rocas.

En esta unidad, la granulometría oscila desde polvo o ceniza volcánica fina, en algunas de las capas de tobas depositadas por el aire, hasta guijarros gruesos o aun cantos rodados en las capas de conglomerado volcánico-clástico. Las rocas varían desde laminadas finamente y bien estratificadas hasta capas más o menos masivas de varios metros de espesor. Estructuras observadas en las tobas depositadas por el aire incluyen diastratificación y estratificación *gradada* (normal e inversa) y *mantle bedding* (Williams y McBirney, 1979, p. 135).

Las rocas que se supone fueron formadas por derrames de ceniza, son caóticas, sin selección o estratificación interna y varían desde tobas (*sensu stricto*) hasta tobas de lapilli, ambas con pómez abundante y cantidades variables de fragmentos líticos. Su apariencia cambia de un lugar a otro debido a los distintos grados de piroconsolidación y desvitrificación, y se considera que dentro del "Complejo volcánico basal" hay más de un derrame de ceniza, ya que en una sola sección (por ejemplo en el Cerro de El Indio) se observó variaciones en el grado de piroconsolidación que no corresponden al patrón que se observa en una unidad simple de enfriamiento (*single cooling unit*, Smith, 1960).

La secuencia piroclástica basal *subyace discordantemente* a la unidad "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" (Tbcb), en todas las localidades mencionadas arriba, a excepción de las playas de Punta Arranca Cabellos, donde *subyace* aparentemente al "Conglomerado El Coyote". Esta relación no se conoce con certeza, ya que en este lugar existen grandes complicaciones estructurales debidas al Sistema de Fallas de El Coyote y, por tanto, no es posible asegurar que la capa delgada de rocas volcánicas felsicas vistas en ese lugar pertenezcan al "Complejo volcánico basal".

Una última característica que unifica (?) a esta secuencia es la gran complejidad estructural que presenta y que parece ser heredada de eventos tectónicos que anteceden a la depositación de la "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" (Tbcb). En efecto, en muchos lugares en que se observó al "Complejo volcánico basal" las rocas se encuentran *caóticamente* entremezcladas y resultó imposible, a la escala en que se trabajó, cartografiar las diversas litologías descritas arriba.

"Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" (Tbcb) — Esta unidad cartográfica se caracteriza por rocas constituidas por clastos de origen ígneo extrusivo, de composición predominantemente basáltica y por cantidades subordinadas de clastos andesíticos. Textural y estructuralmente presenta variaciones marcadas, pues hay lugares en que los bloques angulares predominan y en otros es posible encontrar clastos desde subredondeados hasta redondeados. Las rocas varían desde masivas hasta estratificadas regularmente y desde caóticas hasta seleccionadas regularmente (Figura 14). La cantidad de matriz y su naturaleza cambia de un lugar a otro, aun dentro de un mismo afloramiento.

Las características generales de la "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" difieren considerablemente si se compara los afloramientos de la parte septentrional del área con

aquellos que se encuentran en las inmediaciones de La Paz. A continuación se describe las variaciones extremas; el lector deberá tener en cuenta que entre ellas existe una gran cantidad de tipos transicionales y que los cambios litológicos en la unidad no solo se presentan lateralmente, sino que también en algunos casos se les puede observar verticalmente.



Figura 14. — "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" (Tbcb). En la porción septentrional del área de estudio predominan brechas como las que aquí se muestran. Hacia el sur mejora la estratificación y selección del depósito.

En la porción septentrional del área estudiada, en las inmediaciones de Pichilingue, Playas de El Coyote y Cerro de El Rosario (Locs. 9, 11, 21) las rocas tienden a ser brechas compuestas por bloques desde angulares hasta subredondeados de color gris medio a gris oscuro, afaníticos, merocristalinos (?) y en ocasiones vesiculares ligeramente. Los *microfenocristales* más abundantes observados en estos fragmentos fueron *plagioclasa* y piroxeno, por lo que estas rocas en el campo se clasificaron como basálticas (*sensu lato*). Dentro de las brechas también se observó (~ 10%) algunos fragmentos de color café rojizo oscuro con cristales abundantes de plagioclasa y cantidades subordinadas de piroxeno a las que se les considero como basaltos oxidados fuertemente. Otros fragmentos comunes son clastos de color ocre, altamente vesiculares que semejan escoria basáltica oxidada fuertemente. La matriz varía desde polvo volcánico fino hasta cenizas gruesas y se presenta en cantidades que oscilan desde menos del 10% hasta más del 50% del volumen de la roca. Las brechas varían de masivas y caóticas a estratificadas y seleccionadas pobremente. En términos generales, estas brechas no presentan *diastratificación*, ni incluyen canales intraformacionales. La estratificación *gradada* se presenta en algunas de las capas mejor seleccionadas. El tamaño de los clastos oscila desde varios metros de diámetro, aunque esto es excepcional, hasta el tamaño de arena gruesa. En las inmediaciones de La Paz, en la base de los Cerros Atravesado (Loc. 32) y El Piojillo (Loc. 34) esta unidad está compuesta predominantemente por areniscas volcánicas (epiclásticas) de grano grueso. Ocasionalmente se encuentran capas compuestas por paraconglomerados *polimícticos* constituidos por *clastos* desde subredondeados hasta bien redondeados de origen volcánico. El tamaño de los fragmentos en los conglomerados oscila entre 1 y 15 cm y

predominan los fragmentos de 3 a 5 cm. Estos conglomerados y areniscas están notablemente mejor seleccionados y estratificados que aquellos observados en la porción septentrional del área; y aun cuando en ellos los clastos basálticos son los más comunes, las proporciones y variedades de clastos volcánicos de otras composiciones, principalmente riolítico-riodacítico, son mayores. Las capas de arenisca se presentan en estratos que van de unos cuantos centímetros a más de 2 m de espesor. Estratificación *gradada* (normal) y diastratificación (tabular) son comunes y es frecuente encontrar capas lenticulares con guijas abundantes bien redondeadas que se interpretan como depósitos de canal.

La "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra", en la porción septentrional del área estudiada, sobreyace discordantemente al "Complejo volcánico basal" y en algunos lugares está cubierta por la "Brecha color ocre" (Tbco), por derrames de cenizas (e.g. Cerro de El Indio, Loc. 22) o por el "Conglomerado El Engano" (e.g. Cerro de El Piojillo, Loc. 34).

"Brecha color ocre" (Tbco) — En la porción septentrional del área se encuentran algunas brechas monolitológicas de color ocre, que en ocasiones están interestratificadas con la "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" y otras veces coronándolas. En la región del Cerro de El Rosario (Loc. 21, Figura 1), asociadas íntimamente a las estructuras circulares o semicirculares (¿vestigios de antiguos cráteres?), afloran brechas basálticas en las que se observó algunas bombas volcánicas con forma de huso de hasta 60 cm de longitud. En este lugar las rocas (Tbco) son caóticas, sin estratificación ni selección aparente y carecen, casi por completo, de matriz.

En el Cerro de Las Microondas (Loc. 37) se observó rocas que a distancia resultan similares a las descritas anteriormente, debido al color ocre intenso. En el afloramiento se observó que la unidad está inclinada fuertemente, interestratificada con la "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" y constituida en su base y cima por brechas monolitológicas, caóticas, sin matriz, con fragmentos color ocre, angulares, afaníticos y vesiculares ligeramente, que oscilan entre 30 y 1 cm de diámetro. Estas brechas cambian gradualmente a una roca de color gris verdoso, sin brechar, con numerosos pliegues de flujo. Se estima que el espesor total excede los 20 cm. Se cree que algunas de las brechas color ocre son producto de auto-brechamiento en derrames de lava andesíticos.

"Toba rosa El Caimancito" (Ttr) — Esta unidad se encuentra distribuida ampliamente en la parte central del área y descansa discordantemente sobre la "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" (Tbcb) y *subyace*, también discordantemente, a la "Toba Las Calaveras" (Ttc).

La unidad está constituida principalmente por una toba de lapilli, muy pumicitica, de composición felsica y cuando menos por un depósito de conglomerado volcanoclastico heterolitológico. Las rocas epiclasticas incluidas en la unidad tienden a estar rellenas paleocanales fluviales, por lo que no es de esperarse la continuidad de estos conglomerados a través del área.

En una cantera pequeña, situada en la base del Cerro de Las Calaveras (Loc. 4) unos 200 m al SE de la Planta de Energía Solar, la toba pumicitica presenta un color rosa intenso y es muy rica en fragmentos alargados de lapilli. El tamaño promedio de los fragmentos piroclásticos es de 5 cm y ocasionalmente llegan a medir hasta 50 cm.

En esta localidad el depósito no presenta signos de pi-

roconsolidación ni desvitrificación y es caótico, sin selección ni estratificación. Los fragmentos de pomez tienden a presentarse orientados subparalelamente, posiblemente debido a la compactación post-deposicional, ocurrida cuando el derrame de cenizas se encontraba aun caliente. La toba es pobre en microfenocristales y megascópicamente solo fue posible identificar plagioclasa, cuarzo, sanidino y minerales opacos, por ello se cree que es de composición riodacítica.

En otras localidades (Loc. 23 y 36), se observó tobas de composición similar, solo que piroconsolidadas parcialmente, ocupando la misma posición estratigráfica (arriba de la "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" o abajo de la "Toba Las Calaveras"), por lo cual se supone que se trata de un derrame de cenizas (*ash-flow tuff*) que presenta variaciones laterales y verticales debido a piroconsolidación, compactación y desvitrificación.

En la localidad del Cerro de Las Calaveras, la "Toba rosa El Caimancito" (Ttr) está separada de la "Toba Las Calaveras" (Ttc) por un depósito claramente epiclastico, constituido por conglomerado y areniscas conglomeráticas volcanoclasticas. Este depósito presenta estratificación clara, selección relativamente buena y algunos rasgos epiclásticos tales como estratificación *gradada*, relleno de canales y otros. Los clastos son heterolitológicos andesíticos y riolíticos (sensu lato). Predominan los clastos felsicos, principalmente ignimbritas piroconsolidadas desde parcial hasta totalmente. Los fragmentos oscilan de subredondeados a bien redondeados y su tamaño varía de 8 cm a menos de un centímetro de diámetro. El tamaño promedio de los granulos es de aproximadamente 2 cm de diámetro. La matriz está constituida por arenas volcanoclasticas de grano medio a fino y constituyen más del 30% del depósito.

"Toba Las Calaveras" (Ttc) — En el Cerro de Las Calaveras (Loc. 4), sobreyaciendo discordantemente a las rocas epiclásticas de la unidad "Toba rosa El Caimancito" (Ttr), *aflora* una toba riolítica caracterizada por una superficie de erosión, con numerosas oquedades semiesféricas (¿*tafoni*?) que la hacen identificable fácilmente a distancia. Sobre la toba riolítica, quizá ocupando un paleocanal, se encuentra otro depósito de conglomerado y areniscas volcanoclasticas retrabajadas por el agua, al cual incluimos dentro de esta unidad.

La "Toba Las Calaveras" es de color rosa, merocristalina y microporfídica. Presenta numerosos fragmentos de pomez sin colapsar, de un tamaño promedio que no excede a los 3 cm, embebidos en una matriz compuesta por polvo volcánico. Los minerales observados son cuarzo, sanidino, plagioclasa, biotita y óxidos de Fe. En algunos lugares se encuentran pequeños fragmentos líticos color ocre. En general, la toba no muestra evidencias de estratificación, selección, desvitrificación, ni piroconsolidación, por esto se supone que se trata de la porción no piroconsolidada de un derrame de cenizas riolítico. El depósito epiclastico está compuesto por conglomerados y areniscas volcanoclasticas heterolitológicas. El tamaño del grano de estas rocas *clásticas* demuestra la tendencia del paleocanal a disminuir hacia la cima y muy cerca de ella existen horizontes ricos en fragmentos de pomez (5 a 8 mm) embebidos en una matriz arenosa de grano medio.

"Conglomerado El Engano" (Tce) — En la porción meridional de la zona estudiada afloran conglomerados epiclásticos compuestos, principalmente, por fragmentos de rocas volcánicas y, en menor proporción, por clastos provenientes

de la erosion del "Complejo Cristalino de La Paz" (Ortega-Gutierrez, 1982), tonalitas, granodioritas y granitos. Estas rocas **subyac**en a la "Riodacita Providencia" en el Cerro del Chichonal (Loc. 33) y descansan discordantemente sobre la "Arenisca Cerro del Chichonal".

El deposito puede describirse como caotico, puesto que el tamaño de los clastos oscila entre 50 cm a menos de un centimetro de diametro. Los fragmentos varian de redondeados a muy bien redondeados y son predominantemente rocas piroclasticas felsicas, piroconsolidadas desde parcial hasta totalmente y, en menor proporcion, rocas plutonicas desde maficas hasta intermedias y de composicion granitica (*sensu lato*). La matriz esta compuesta por arenisca arcocica de grano grueso y constituye mas del 20% de la roca. La unidad se presenta formando bancos gruesos con estratificacion muy burda y, como un todo, el tamaño del grano tiende a disminuir y a mejorar la seleccion y estratificacion hacia la cima del deposito. Tomando en cuenta sus características litologicas se cree que el conglomerado fue formado en un medio ambiente fluvial.

"Riodacita Providencia" (Tdp) — La unidad volcanica mas joven ( $19.1 \pm 1.2$  Ma, Hausback, 1984) que aflora en el area de estudio es un derrame de riodacita **fluidal** (*sensu stricto*) que corona a casi todos los cerros situados en la zona Ic (Figura 2). Esta unidad, que se inclina suavemente hacia el poniente, y resiste altamente a la erosion, es la que imprime a Ic la morfologia característica.

La "Riodacita Providencia" se identifica facilmente en el campo, pues es de color cafe oscuro, afanítica, **merocristalina**, microporfídica y presenta una foliacion notable debida al flujo, acentuada por desvitrificacion (Hausback, 1983). La foliacion se presenta subparalela cerca de su base y en su cima esta deformada altamente, mostrando gran cantidad de pliegues isoclinales. Con base en sus variaciones de espesor, en la posicion de los planos **axiales** de sus pliegues de flujo y en su distribucion regional, Hausback (op. cit.) considero que la fuente de la que proviene estuvo situada al sur de La Paz.

En el area **cartografiada** se le observo descansando discordantemente sobre la "Toba Las Calaveras" en el cerro del mismo nombre (Loc. 4) o cubriendo al "Conglomerado El Engano" en los cerros situados al sur de La Paz (Loc. 30 y 33).

En la **base** del Cerro de Las Calaveras se observo un **vitrificado negro** sin desvitrificar, con numerosas fracturas **perliticas** y que gradualmente cambia, hacia arriba, a una roca foliada y desvitrificada que presenta las características descritas anteriormente.

Hausback (op. cit.) reporto que su contenido de siliceos de 69% y que presenta la paragenesis primaria siguiente: plagioclasa > clinopiroxeno > oxidos de Fe y Ti > apatita. Las litofisas (*lithophysae*) contienen: fayalita, tridimita, cuarzo, hornblenda, biotita (?) y anfibola.

Discusion — Consideramos conveniente referir nuestro trabajo sobre la secuencia volcanosedimentaria a un marco teorico o modelo que permita descifrar, en parte, el significado geologico de ella. Un modelo apropiado es el presentado por Williams y McBirney (1979), en el cual se muestra el contraste litologico marcado que presenta una secuencia **volcanosedimentaria**, dependiendo de la distancia horizontal que la separa de su fuente de origen. En terminos generales, se distinguen tres grandes facies volcanicas que son **llamadas**: proxima, intermedia y distante. Cada una de las facies presenta una serie de rasgos que en conjunto las caracterizan, pero que por si mismos no tienen un valor diagnostico (Figura 15).

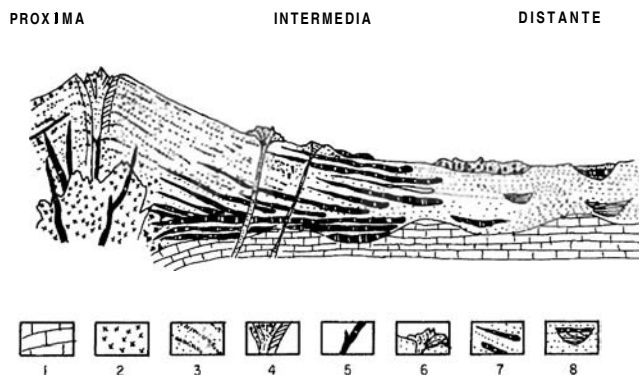


Figura 15.— Principales facies en las rocas relacionadas a un volcan central de tamaño considerable (Williams y McBirney, 1979). Clave (interpretada por los autores de este articulo con base en el texto de Williams y McBirney, op. cit.). 1. Basamento Prevolcanico. 2. Intrusivo Sub-volcanico. 3. Tefra estratificada burdamente y seleccionada pobremente. 4. Relleno de crater y conducto volcanico con diaclasas de enfriamiento divergentes de manera notable. 5. Chimeneas brechadas y/o diques. 6. Conos parasiticos y/o domos extrusivos. 7. Derrames de lava interstratificados con capas de tefra relativamente bien estratificada y seleccionada. Tambien algunos sedimentos retrabajados por agua y lahares. 8. Tefra laminada finamente, interstratificada con lahares, sedimentos depositados en agua somera o ignimbritas piroconsolidadas debilmente. Derrames de lava controlados por el paleodrenaje (*in tra-canyon-flows*).

En el transcurso de los trabajos de campo se hizo evidente que existe un cambio sistemático en la litología de la unidad designada como "Brecha y conglomerado volcanicos Balandra" (Tbcb). Las rocas de esta unidad estan esparcidas por toda el area, pero su caracter difiere radicalmente en la porcion septentrional del area y en los alrededores de La Paz. En Pichilingue, Puerto Balandra y El **Tecolote** las brechas son caoticas, con fragmentos angulares o subangulares y presentan una disposicion burda en capas que varian de 1 a 10 m de espesor. En las cercanias de La Paz y hacia el sur los clastos tienden a ser mas redondeados, la seleccion es mejor y las estructuras características de rocas que fueron transportadas y depositadas por agua son abundantes. Esto hace suponer que conforme nos alejamos de Punta Coyotes hacia el sur, aumenta la distancia a la(s) **fuentes** volcanicas(s).

Otro factor importante que debe tomarse en cuenta en esta interpretacion es la posicion estructural de las capas que forman la "Brecha y conglomerado volcanicos Balandra". En la porcion septentrional del area es comun encontrar angulos de inclinacion superiores a los 30°. Se supone que muchos de estos son primarios, es decir, formados al mismo tiempo en que se deposito esta unidad. El patron de distribucion de las capas en esta misma unidad es muy irregular (Figura 7) y, comparado con la posicion estructural de las capas en la zona geomorfológica Ic, resulta casi caotico. Esto puede deberse a dos causas: 1) que la zona haya experimentado tectonismo intenso; o 2) que hubo mas de una fuente en el area aportando materiales volcanicos simultaneamente.

La zona se ha visto afectada indudablemente, por fallas cenozoicas que han cortado a todas las rocas aflorantes ("Cl. infra", p. 14 y siguientes); sin embargo, creemos que el sistema de fallas mas importante en la region, el de mayores desplazamientos, es el que tiene una orientacion aproximada N 10° W. Este sistema divide al terreno en una serie de bloques que

a su vez estan subdivididos por un sistema de fallas o fracturas cuya orientacion es N 60° W — E-W. La cartografia geologica de las zonas adyacentes (principalmente en las Islas Espiritu Santo y La Partida; Aranda-Gomez y Perez-Venzor, 1986), y aun dentro de la porcion meridional del area, permite afirmar que este sistema transversal no tiene efectos tan marcados como el N-S. Por tanto, se concluye que las inclinaciones observadas en la "Brecha y conglomerado volcanicos Balandra" (Tbcb) en la zona Ia son, principalmente, de origen primario y en menor grado de origen tectonico.

En las fotografias aereas del area del Cerro de El Rosario (Loc. 21) es posible distinguir dos patrones semicirculares, anidados uno dentro del otro, que pueden ser evidencia de la localizacion de una de las fuentes de material igneo. La presencia de esta posible fuente en el Cerro de El Rosario no excluye la posibilidad de que algunos materiales provengan de fuentes situadas afuera de la zona estudiada.

El patron de distribucion de paleocanales rellenos de material volcanoclastico-epiclastico en las Islas Espiritu Santo y La Partida (Aranda-Gomez y Perez-Venzor, 1986) indica que las fuentes principales pudieron haberse localizado al oriente de ellas y por tanto al nororiente de Punta Coyotes. El hecho de que algunas de las unidades ignimbríticas, como la "Toba rosa El Caimancito" (Ttr), presenten un mayor espesor y patrones de piroconsolidacion bien definidos en la parte oriental del area, parece indicar tambien que las fuentes de estos derrames piroclasticos se localizaron al nororiente de la zona.

Con los datos recabados en la region es imposible determinar si tanto las rocas basalticas de la "Brecha y conglomerado volcanicos Balandra" (Tbcb) como las riolaciticas (derrames de cenizas) provinieron de la misma o de distintas fuentes.

**Rocas post-vulcanismo.**— En el area aflora una serie de conglomerados semiconsolidados que incluyen fragmentos de la unidad volcanica mas joven conocida en ella ("Riodacita Providencia"); se considera que estos depositos continentales, junto con los depositos no consolidados (aluvion, depositos de talud, terrazas fluviales, etc.) forman las unidades litoestratigraficas mas jovenes del area.

"Conglomerado El Coyote" (Tcc) — En la porcion nor-oriental del area existen afloramientos extensos de ortoconglomerados polimicticos, desde moderadamente hasta bien litificados. Estas rocas descansan discordantemente sobre el "Granito Sierra de Las Cruces" (Kgc) cretaco, sobre rocas parecidas al "Complejo volcanico basal" (Tcvb), o sobre la "Arenisca roja" (Tar). Estos conglomerados se encuentran restringidos al bloque situado al oriente del sistema de fallas de El Coyote y se estima que su espesor en el area excede a los 50 m.

El deposito muestra una estratificacion burda, la cual puede distinguirse mejor a cierta distancia de los afloramientos. Los estratos usualmente son paralelos y excepcionalmente cruzados y no presentan seleccion alguna. El tamaño de los clastos varia de guijas muy gruesas (~ 30 cm de diametro) a guijas muy finas y su forma es desde subredondeada hasta redondeada. La matriz es arenosa, de grano grueso a medio y forma menos del 10% del deposito. En algunos lugares se observo capas lenticulares delgadas de arena y/o limo, pero son muy escasas.

El conglomerado está compuesto en un 90 a 95% por fragmentos de rocas volcanicas diversas y en un 10 a 15% de guijas graniticas y metamorficas. Por lo general, es posible encontrar algunas guijas, bien redondeadas, de calizas de color

gris acero y grano muy fino (posiblemente calcilitas) y algunos clastos de pedernal sedimentario.

La composicion litologica de los clastos es sorprendente, ya que muchas de las rocas incluidas en el conglomerado no afloran en la actualidad en las cercanias de Punta Coyotes. Algunos de los fragmentos volcanicos, como los clastos de porfidos basalticos, no tienen equivalente en la secuencia volcanosedimentaria, situada al poniente de las fallas y sobre todo, en el extremo meridional de la Peninsula, no hay reportes de la existencia de calizas como las descritas arriba.

Resulta dificil asignar una edad al "Conglomerado El Coyote", ya que solo se encuentra cubierto parcialmente por remanentes de arenas arcósicas, posiblemente del Pleistoceno-Holoceno (?) derivadas de la erosion de la Sierra de Las Cruces. Su edad maxima tambien plantea un serio problema, ya que en general se encontro que lo cubren rocas cretaticas. Se supone que estos conglomerados fueron sin- o post- vulcanismo y que su formacion antecede a la supuesta separacion de la Peninsula de Baja California del resto del continente. Su posible edad, por tanto, esta entre el Mioceno y el Plioceno.

"Conglomerado Palmira" (Qcp) — En diversos cortes a lo largo de la carretera La Paz-Pichilingue (Loc. 2 y 7), es posible observar afloramientos de depositos semiconsolidados de orto y paraconglomerados polimicticos, que se caracterizan por contener fragmentos angulares. Al parecer es la unidad volcanica mas reciente en el area ("Riodacita Providencia").

Los depositos son caoticos o con clasificacion y seleccion burdas. Los clastos varian de bien redondeados a angulares y desde unos cuantos milimetros a 50 cm o mas de diametro.

En el corte de la carretera situado al pie de la Colina del Sol (Loc. 2), el conglomerado esta constituido por 10 a 15% de clastos angulares provenientes de la "Riodacita Providencia", 30 a 40% de fragmentos subredondeados o redondeados de basalto y 30-40% de fragmentos de derrames ignimbríticos piroconsolidados y desvitrificados parcialmente. La matriz esta compuesta por arena de grano grueso, originada a partir de las unidades volcanicas y constituye aproximadamente el 10% del deposito. El tamaño promedio de los fragmentos oscila desde guijarras pequenos hasta cantos pequenos. En esta localidad el deposito muestra una estratificacion muy burda debido a variaciones en el tamaño promedio de los clastos, y las capas son casi horizontales.

Se considera que estos depositos fueron originados por comentes fluviales y/o a manera de depositos de talud. La esfericidad alta de los clastos basalticos no se atribuye al transporte sufrido durante el ultimo ciclo de erosion-deposito, sino que se cree que es heredada de ciclos anteriores, contemporaneos al vulcanismo.

## GEOLOGIA ESTRUCTURAL

El area estudiada se encuentra en lo que aparentemente es una frontera estructural que divide a la porcion meridional de la peninsula en dos grandes provincias geológicas. Todos los investigadores que han trabajado en la zona han reconocido esto, y han relacionado esta discontinuidad geologica con una falla o sistema de fallas que han recibido genericamente el nombre de "Falla de La Paz" (Rusnak et al., 1964; Hamilton, 1971; Lozano-Romen, 1975 y otros). Un examen superficial de los informes geologicos acerca de la region muestra que



no hay consenso en cuanto a la ubicacion, origen y edad de esta importante estructura. La cartografia geologica y observaciones de campo permiten aportar algunos datos que pueden ayudar a esclarecer esta cuestion.

En las fotografias aereas, mapas topograficos e imagenes de satelite es posible distinguir una serie de alineamientos e irregularidades en el patron de drenaje que, como primera aproximacion son considerados como posibles fallas o fracturas. Entre los alineamientos mas notables tenemos: 1) la que es paralela al cauce del Arroyo de El Coyote (N 17° W) y que se presenta como una linea recta por mas de 12 km. Este mismo alineamiento es la frontera entre los afloramientos de la secuencia volcanoclastica al surponiente y los del "Conglomerado El Coyote" y del complejo cristalino al nororiente; 2) el cambio de pendiente que marca el contacto entre el complejo cristalino y los depositos no consolidados de origen aluvial, en la porcion suroriental del area estudiada, tienen una direccion que es esencialmente paralela a la de los Arroyos de El Coyote y del Cajoncito; 3) las cuevas o montañas de superficie plana, inclinadas suavemente hacia el poniente, en la zona geomorfológica Ic, tambien parecen alinearse sugiriendo la presencia de un control estructural (Figura 6); 4) en las zonas geomorfológicas Ia y Ib, existen alineamientos menos conspicuos con rumbos que oscilan entre N 80° W y E-W.

Otros rasgos importantes, desde el punto de vista estructural, son: 1) el de la localizacion de posibles fuentes de material volcanico. Quiza la pregunta mas relevante al respecto es: ¿estuvieron dentro del area o se encontraron fuera de ella y solo podemos ver la parte distal del campo volcanico?; 2) el origen de la inclinacion, mas o menos constante, de muchas de las unidades volcanosedimentarias hacia el occidente, y 3) las estructuras antiguas en el complejo cristalino y su relacion con rasgos que afectan a las rocas cenozoicas.

#### FALLAS ANTIGUAS (CRETACICO MEDIO?)

En el area estudiada es posible distinguir cuando menos dos periodos de fallamiento, que se encuentran separados por un lapso considerable y que difieren radicalmente en sus productos. En las rocas del complejo cristalino se observan zonas en que los ortogneises de composicion tonalítica y/o granodiorítica presentan muestras claras de deformacion milonítica con cohesion primaria. De acuerdo con Higgins (1971), este tipo de metamorfismo esta comunmente asociado a zonas de falla, en las que tanto la presion como la temperatura alcanzaron un valor considerable. O bien, que tratandose de rocas igneas, la deformacion plastica puede relacionarse con movimientos tardios dentro de un cuerpo de rocas cristalizado parcialmente. La distincion entre estas dos posibilidades seria relativamente simple si el contacto entre el(los) intrusivo(s) con las rocas encajonantes fuera discordante, ya que en este caso la foliacion en las rocas afectadas por protoclasia imitarián mimicamente al contacto (Higgins, op. cit.). En el complejo cristalino este criterio no es util, ya que se ha observado en areas mejor expuestas (Aranda-Gomez, 1982) que los contactos entre los plutones y las rocas metamorficas son concordes.

Existen tres lineas de evidencia que nos permiten afirmar que en el complejo cristalino las zonas de deformacion milonítica son debidas principalmente a fallamiento: 1) en algunos lugares hemos observado, dentro de un afloramiento, gradacion completa de una roca con textura claramente íg-

nea a rocas con texturas caracteristicas de gneises miloníticos; 2) el hecho de que en la region de Todos Santos (Aranda-Gomez, op. cit.) la deformacion no solo afecta a los intrusivos tonalíticos-granodioríticos, sino que tambien puede ser observada en otros plutones y en algunos metasedimentos, y 3) en las cercanias del rancho de La Buena Mujer, se observo algunos afloramientos en que las rocas presentan dos foliaciones cataclasticas intersectandose con un angulo considerablemente grande (Figura 9), lo que interpretamos como la interseccion de dos fallas con angulo distinto. La edad de este fallamiento antiguo esta limitada por la de los plutones en los que se encuentra y la de otros intrusivos en el complejo cristalino que no se encuentran afectados por la deformacion milonítica. En la region del rancho de La Buena Mujer es claro que el "Granito Sierra de Las Cruces" (Kgc) esta intrusivando a las rocas igneas mas maficas y que ni el granito, ni los diques pegmatíticos asociados a él se ven afectados por el fallamiento antiguo. Si se consideran las incertidumbres analíticas, las edades que Frizzell y Ort han obtenido, a traves de los estudios que estan realizando, para ambos plutones no son radicalmente distintas (87-94 Ma para el "Granito Sierra de Las Cruces" y 95 Ma para un cuerpo tonalítico en Todos Santos); por consiguiente, si estos datos reflejan las verdaderas edades de enfriamiento, el lapso en que el fallamiento ocurrio es muy restringido (87 a 95 Ma).

La mayor parte del rumbo de las foliaciones medidas en el complejo cristalino dentro del area estudiada son N 10° W ( $\pm 15^\circ$ ) y los angulos de inclinacion oscilan entre 40 y 85° hacia el NE o SE, siendo mas comunes las inclinaciones mayores de 70°. Suponemos que estos datos reflejan, en parte, la orientacion de los planos de falla cretácicos. En el cauce del Arroyo del Cajoncito, aguas abajo de la Presa de La Buena Mujer (Loc. 29), se observo una segunda foliacion cataclástica con orientacion N 80° W, 72° NE.

#### FALLAS CENOZOICAS

En el area existen numerosas fallas que cortan tanto a las rocas del complejo cristalino, como a las rocas de la secuencia volcanosedimentaria. Estas fallas de edad claramente cenozoica, difieren radicalmente de las antiguas, puesto que producen materiales sin cohesion primaria ni estructuras de flujo (brechas de falla y salvanda). Esto, de acuerdo con Higgins (1971), es característico de deformacion cataclástica a presiones confinantes y temperatura baja relativamente.

Todos los alineamientos enumerados en la introduccion de esta seccion pertenecen en mayor o menor grado a esta categoria y creemos que el desarrollo geomorfológico y estructuras de primer orden en el area son producto de ellas. Asi, tenemos que la orientacion general de las Sierras de Las Cruces, La Trinchera y de El Novillo y la de los Valles de La Paz y de San Juan de los Planes es controlada por una sucesion de pilares y fosas tectonicas. Una buena parte de nuestros esfuerzos durante la verificacion de campo estuvo encaminada a localizar las fallas maestras de estas estructuras y a definir su naturaleza sobre el terreno. Nuestro exito en este empeño oscila entre moderado y pobre, pues: 1) no siempre fue posible localizar con certeza dichas estructuras, 2) muchas veces no se pudo determinar el movimiento relativo, debido a la falta de horizontes marcadores confiables, tanto en el basamento como en las rocas volcanicas y 3) en otros casos la presencia de las fallas se ve oscurecida por la pobreza de los afloramientos.

**Alineamiento del Arroyo de El Coyote.** — El sistema de fallas del Arroyo de El Coyote es uno de los más claramente expuestos en el área. En algunas de las cuestas pequeñas, localizadas meridionalmente en Punta Arranca Cabellos, se observan planos de falla con orientación N 20° E, 82° SW. Estos planos se encuentran asociados a brechas de falla y a alteración hidrotermal intensa. Las fallas en este lugar ponen en contacto la "Brecha y conglomerado volcánicos Balandra" con el "Complejo volcánico basal", por lo que se cree son de carácter normal.

**Alineamiento del Arroyo del Cajoncito.** — El Arroyo del Cajoncito (Figura 1), a la altura del rancho de La Buena Mujer, tiene un cambio en su curso de aproximadamente 90° y sigue aguas abajo, con una trayectoria recta casi constante al N 17° W. Esta dirección es paralela a la del Arroyo de El Coyote y subparalela al cambio de pendiente que marca el contacto entre el proluvión cuaternario y el complejo cristalino. La verificación de campo muestra que existen numerosas zonas en que puede observarse fallas normales con pequeños desplazamientos (del orden de decenas de centímetros a varios metros), o zonas de cizallamiento cuyas orientaciones se dividen en dos grandes grupos: una con rumbo de N 10° W ( $\pm 10^\circ$ ) a inclinaciones generalmente mayores a los 80°, tanto al nororiente como al surponiente y otra con rumbo N 70° W ( $\pm 10^\circ$ ) e inclinaciones generalmente de más de 80° al nororiente (Figura 16). Un recorrido a lo largo del cauce del arroyo nos muestra que éste coincide aproximadamente con el contacto intrusivo entre el "Granito Sierra de Las Cruces (Kgc)" con la "Tonalita La Buena Mujer" (Kbm).

Consideramos que la falla maestra de la fosa tectónica (?) del Valle de La Paz no coincide con el Arroyo del Cajoncito, sino que debe estar localizada en algún lugar cercano al cambio de pendiente (véase falla inferida en la Figura 7) y que la Falla de La Buena Mujer (Altamirano, 1970b), mostrada en mapas fotogeológicos inéditos, no existe o es una estructura de importancia secundaria.

Hay que destacar que muchas de las fallas pequeñas y zonas de cizallamiento medidas en esta localidad coinciden burdamente con las orientaciones de las que suponemos son las estructuras más importantes en el área.

**Alineamiento de las cuestas volcánicas.** — En la subzona geomorfológica Ic existe una serie de cuestas que se alinean burdamente en dirección N-S y que se encuentran coronadas por la "Riodacita Providencia" (Tdp). La inclinación regional de las unidades volcánicas es al poniente (Figura 6).

Consideramos que en esta región puede haber una falla normal inclinada hacia el oriente, puesto que la base del derrame riodacítico aflora a alturas mayores a los 200 m en los Cerros Atravesado (Loc. 32) y de El Panteón (Loc. 36), mientras que en Cerros situados hacia el oriente, como en el de El Engano (Loc. 31) y de El Chichonal (Loc. 33), la base se encuentra aflorando a alturas inferiores a los 100 m. No se pudo cartografiar con precisión esta estructura, porque el área se encuentra cubierta por depósitos gruesos de talud provenientes de la parte oriental de las cuestas.

**Alineamientos transversales.** — En las subzonas geomorfológicas Ia y Ib se encuentran tres alineamientos importantes cuyos rumbos oscilan entre N 60° W y E-W. Estas estructuras son detectables fácilmente en las fotografías aéreas, pero en el campo son difíciles de comprobar por la distribución compleja de las unidades volcanosedimentarias y por la posición estructural, siempre variable, de la "Brecha y con-

glomerado volcánicos Balandra" (Tbcb) y del "Complejo volcánico basal" (Tcvb). En algunos de los cortes de la carretera La Paz-Pichilingue es posible observar algunas fallas normales, con desplazamientos de unos cuantos metros, cuya posición estructural (N 60° W, 64° SW) coincide con el de algunos de estos alineamientos.

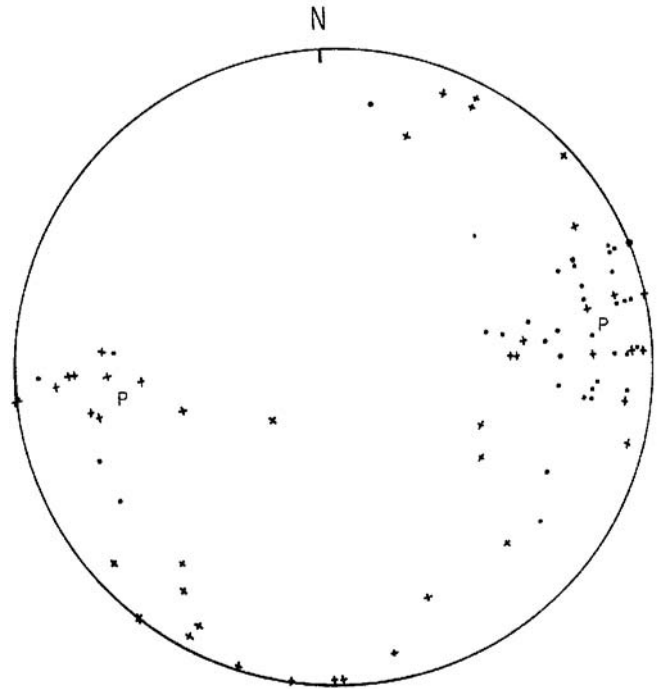


Figura 16. — Análisis de los datos estructurales recolectados. Polos a las foliaciones (\*) medidos en las rocas del complejo cristalino y polos a planos de fallas neotectónicas (+) medidos tanto en el basamento como en las rocas terciarias. La proyección se hizo sobre el hemisferio superior en una plantilla de Schmidt. Al parecer existen dos poblaciones de fallas: una con rumbo N 10° W e inclinación de 70° al NE y SW y otra con rumbo promedio de N 60° W e inclinación de 75° al NE y SW. Observe la coincidencia de la orientación de las foliaciones con el primer conjunto de fallas. Para el análisis geométrico mostrado en la Figura 17 se consideró que los puntos P representan la orientación promedio de las fallas neotectónicas de la población I.

**Análisis de los datos estructurales colectados.** — Durante el trabajo de campo se hicieron mediciones sistemáticas en las foliaciones de las rocas del basamento y se recolectaron datos estructurales en fallas y zonas de cizallamiento, tanto en las rocas cristalinas como en las rocas terciarias. Toda esta información se expuso gráficamente en una plantilla estereográfica de Schmidt, obteniéndose los resultados mostrados en la Figura 16. Aun cuando la cantidad de datos no garantiza un análisis estadístico riguroso, se sugiere las siguientes relaciones: 1) existen dos poblaciones de fallas neotectónicas (i.e. de edad cenozoica); 2) la población I con rumbo promedio de N 10° W y con inclinaciones de 65 a 70° al NE y SW es la más importante y la que imparte sus características estructurales y geomorfológicas de primer orden al área; 3) la población II tiene direcciones que oscilan entre N 60° W y E-W, con inclinaciones de 75 a 90°, tanto al NE como al SW y coincide con el rumbo de los alineamientos transversales descritos

arriba; 4) existe una correlacion fuerte entre la posicion estructural de las foliaciones en las rocas cristalinas y la de las fallas de la poblacion I.

Las fallas neotectonicas de la poblacion I pueden interpretarse como un juego conjugado de fallas, lo que en principio permite establecer su tipo, dependiendo de la posicion estructural de a, y la direccion de extension maxima en el area.

La orientacion de los esfuerzos principales (Figura 17) fue calculada con el metodo descrito por Ragan (1968). Esto se hizo suponiendo que los puntos marcados (P) en la Figura 16, representen la orientacion promedio de la poblacion I de fallas neotectonicas en el area.

Los resultados obtenidos para  $\sigma_3$  (Figura 17) difieren de los datos obtenidos por Angelier y colaboradores (1981) en San Juan de la Costa. Se cree que esta discrepancia en la orientacion de  $\sigma_3$  mas que representar un cambio radical en la disposicion de los esfuerzos principales, refleja una influencia fuerte de la textura milonitica del basamento en la orientacion de las fallas neotectonicas subsecuentes.

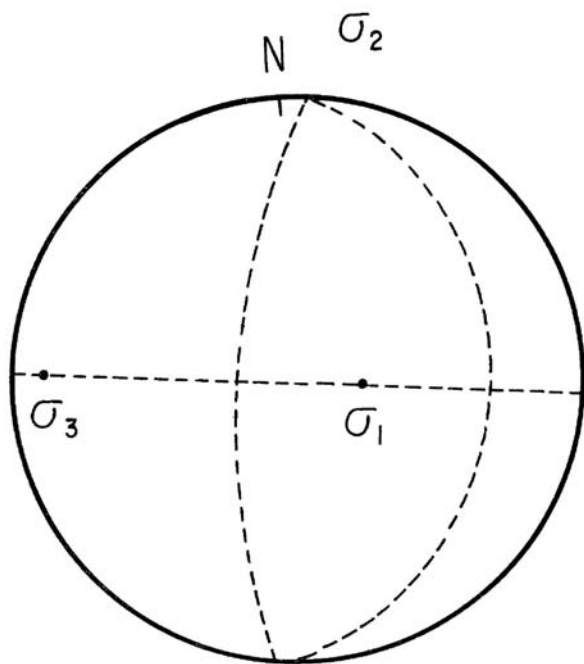


Figura 17.— Análisis geométrico del fallamiento neotectónico. Se consideró que la poblacion I es un juego conjugado de fallas con orientacion promedio P (Figura 16). La orientacion de a, es casi vertical, lo que sugiere que las fallas son normales predominantemente. La direccion de extension maxima  $\sigma_3$  es aproximadamente E-W.

#### ORIGEN DE LA INCLINACION EN LA "SECUENCIA VOLCANOSSEDIMENTARIA

Las subzonas geomorfológicas Ib y Ic muestran a las unidades cenozoicas inclinadas en forma mas o menos constante hacia el poniente. Esta es una característica que tambien se observa en las rocas volcanicas y en otras regiones de la Peninsula. Sin embargo, parece que esta inclinacion puede estar relacionada con una o varias de las siguientes causas: 1) que el nucleo de la cadena volcanica se haya encontrado al oriente de la costa oriental de la Peninsula, y que la inclinacion sea primaria; 2) que algunas de estas unidades hayan sido depositadas horizontalmente o casi horizontales y hayan sufrido un basculamiento debido a fallamiento; 3) a la forma-

cion de un domo posiblemente relacionado con la abertura del Golfo de California. El diagrama de la Figura 18 muestra estas tres hipotesis.

Los datos obtenidos permiten discriminar entre estas tres hipotesis. La naturaleza de las rocas andesítico-basálticas en la porcion septentrional del area, la variacion de facies volcanosedimentarias en la "Brecha y conglomerado volcanicos Balandra", las posiciones estructurales al azar en esta unidad y la presencia de patrones circulares en el Cerro de El Rosario (Loc. 21) parecen indicar que parte de la inclinacion puede ser de origen primario. Los sistemas de fallas normales cartografiados y/o inferidos (e.g. el alineamiento de las cuevas volcanicas) pueden explicar tambien, totalmente o en parte, la posicion estructural de las unidades.

#### BOSQUEJO DE LA HISTORIA GEOLOGICA

La historia geologica de cualquier region debe reconstruirse de acuerdo con la unidades litológicas aflorantes en ella y con los eventos registrados en sus rocas. En un contexto mas amplio, especialmente en esta area, los datos así obtenidos deben compararse con la informacion geologica regional y con los conceptos de la tectonica de placas.

La informacion recabada en Punta Coyotes permite intentar reconstruir los eventos geológicos que afectaron a la region. En la discusion que sigue se hace referencia al area como a un microcosmos y el tono utilizado dara la impresion de que se esta ignorando, casi deliberadamente, a la nueva tectonica global. El proposito es integrar, mas tarde, en otra publicacion la informacion recabada en este microcosmos, con la obtenida en Todos Santos (Ortega-Gutierrez, 1982; Aranda-Gomez, 1982; Aranda-Gomez y Pérez-Venzor, en preparacion) y en Espiritu Santo (Aranda-Gomez y Perez-Venzor, 1986) y compararla con las ideas ya publicadas acerca de la evolucion tectonica de la costa occidental de Mexico. No se hace aqui por considerarse que la validez de las conclusiones que se obtengan estaran reforzadas con una cantidad y calidad mayor de datos que puedan aportarse. Ademas, las circunstancias actuales impiden la realizacion de un estudio bibliografico exhaustivo acerca del tema.

El registro geológico de la region (Figura 19) comienza con una secuencia sedimentaria, de edad desconocida, compuesta por lutitas, areniscas, margas y carbonatos, la cual fue deformada intensamente y metamorfoseada durante el Cretácico Tardío. Simultaneamente al metamorfismo se emplazaron numerosos cuerpos intrusivos de composicion intermedia (95 Ma?) que fueron afectados por las fallas que produjeron rocas miloniticas con estructuras de flujo marcadas.

Las tonalitas y/o granodioritas deformadas cataclásticamente fueron intrusionadas por magma granítico (~94 Ma?) que origino al "Granito Sierra de Las Cruces" (Kgc).

A partir del Cretácico Tardío el registro se pierde por un lapso considerable y el siguiente evento visible es la acumulacion de las areniscas arcósicas de origen eólico (?) de las unidades "Arenisca roja" y "Arenisca Cerro del Chichonal", que ocurrio en un tiempo desconocido antes del volcanismo del Terciario Medio (¿Mioceno?). Posiblemente durante este periodo la region estuvo expuesta al intemperismo y la denudacion elimino la sobrecubierta, dejando expuesta la zona intermedia (Mattauer, 1973) de la franja orogenica, formada durante el Cretácico Tardío.

Un periodo nuevo de fallamiento intenso afecto a la zona, fragmentando y mezclando caoticamente las rocas del "Complejo volcanico basal". La etapa paroxismica del campo volcanico que origino al resto de la secuencia volcanosedimentaria ocurrio despues de este fallamiento. El volcanismo en el area fue subaéreo claramente ya que la secuencia muestra que, al mismo tiempo que se estaba produciendo mas material volcanico, los edificios volcanicos estaban siendo denudados intensamente (Aranda-Gomez y Perez-Venzor, 1986). Durante este lapso el complejo cristalino estuvo sepultado completamente por las rocas volcanicas, ya que no se encontro fragmentos de él en las rocas epiclasticas de la "Brecha y conglomerado volcanicos Balandra".

Las primeras evidencias de que el complejo cristalino quedo expuesto nuevamente a la intemperie se encontraron en el "Conglomerado El Engano", el cual antecede a la "Riodacita Providencia", que es la roca volcanica mas reciente en el area y que tiene una edad de 19 Ma (Hausback, 1984).

Se considera que el periodo de fallamiento normal, iniciado (?) durante el deposito de las areniscas, se encuentra actuando hasta nuestros dias y que esta relacionado de alguna manera con la abertura del Golfo de California.

En el area de Punta Coyotes es comun encontrar conchas de organismos marinos a una altura de varias decenas de metros sobre el nivel actual del mar. Estos vestigios tienen equivalentes vivos en la actualidad, por ello se supone que el area fue afectada por uno o varios ciclos de transgresion-regresion durante el Pleistoceno-Holoceno. Sin embargo, estos datos no permiten establecer si los ciclos mencionados fueron producto de las fluctuaciones del nivel del mar relacionadas con las glaciaciones, o producto del fenomeno anterior combinado con levantamiento regional, como ha sucedido en otras areas de Baja California Sur (Ortlieb, 1981).

## DISCUSION

Algunos hechos fueron dificiles o imposibles de integrar en el esquema discutido arriba; sin embargo, merecen ser considerados.

### CONTACTO DEL "GRANITO SIERRA DE LAS CRUCES"

Las evidencias de campo muestran que los granitos son posteriores a los plutones de composicion intermedia, ya que el granito presenta un borde enfriado (*chilled* margin) en la estacion de aforo del rancho de La Buena Mujer y las tonalitas (Kbm) estan intrusionadas por numerosos diques pegmatíticos y aplíticos, presumiblemente diferenciados como tardios del "Granito Sierra de Las Cruces" (Kgc). Una cosa que parece enigmatica es que la edad de las rocas intermedias y graníticas no es distinta radicalmente, y que por el volumen de los plutones intermedios, no seria factible que en ese corto lapso (~ 2-6 Ma si se consideran las incertidumbres analíticas asociadas a las determinaciones K-Ar) las rocas se enfriaran lo suficiente para permitir el desarrollo de los bordes enfriados al momento de intrusionarse el granito. Esto lleva a una de las siguientes conclusiones: 1) los datos que Frizzell y Ort han obtenido durante los estudios que estan realizando no son extrapolables a las rocas del area estudiada o 2) las edades de K-Ar solo reflejan la edad del ultimo evento plutonico en el area.

### EDAD DEL "GABRO LA PALMILLA" Y SU ORIGEN

El gabro estratificado de La Palmilla plantea otros problemas. Las estructuras y texturas en el cuerpo parecen indicar que el proceso que lo origino fue cristalización fraccionada, combinada con procesos gravitacionales dentro de una camara magmatica (*e.g.* Hyndman, 1972). La ausencia de deformacion cataclastica y el hecho de que todos los cuerpos gabroicos conocidos en el area se encontraron en las rocas plutonicas intermedias, parecen senalar que el gabro fue intrusionado en el lapso limitado por el periodo de fallamiento antiguo y el emplazamiento del "Granito Sierra de Las Cruces". Sin embargo, el contacto con rocas mas felsicas (tonalíticas) parece ser transicional y en el area situada entre los ranchos de La Palmilla y La Buena Mujer (Locs. 28 y 29) se observo rocas tonalíticas con bandeamiento primario.

Es dificil conciliar el concepto de sedimentacion ígnea con el de intrusiones sintectonicas que son acordes con la foliacion en los metasedimentos circundantes, ademas de que algunas de estas rocas estan deformadas cataclasticamente.

Algunos autores han asignado edades del Terciario temprano a rocas maficas como las de la Sierra de El Novillo y al intrusivo estratificado de El Volcan, localizado cerca de Todos Santos (Altamirano, 1970). Esto parece concordar con el hecho de que estas rocas no estan intrusionadas por los diques pegmatíticos y el que no esten afectados por las fallas antiguas. Sin embargo, esto forzaria a proponer otro periodo de magmatismo, seguido por tectonismo que de origen a la posicion estructural, inclinada fuertemente, de los pseudoestratos, que presumiblemente se formaron en posicion semihorizontal. Esto parece una situacion extrema que no esta apoyada por los datos con los que contamos actualmente. Por tanto, se considera que esta cuestion solo puede resolverse por medio de la cartografia detallada alrededor del pluton, apoyada por estudios petrograficos y geoquimicos de las rocas.

### PAPEL DEL "CONGLOMERADO EL COYOTE"

Una de las rocas epiclasticas mas enigmaticas es el "Conglomerado El Coyote" (Tcc). Su distribucion en el area (Figura 7) parece indicar que de alguna forma se encuentra ligado al periodo de fallamiento normal del Neogeno. Sin embargo, su interpretacion se dificulta por la presencia de clastos de caliza, una roca que no se ha reportado en la porcion meridional de la Peninsula de Baja California.

## AGRADECIMIENTOS

El trabajo de campo del presente estudio fue financiado por la UABCS. Las autoridades de la Universidad, a traves del CIDI, brindaron todas las facilidades para su realizacion.

La investigacion se llevo a cabo a lo largo de dos anos, con salidas esporadicas al campo, conforme lo permitieron las actividades docentes de los autores. La idea inicial de este proyecto fue de Javier Gaytan, quien elaboro un primer bosquejo fotogeologico de una parte del area (inedito). Con base en este bosquejo, reinterpretacion de las fotografias aereas y verificacion de campo, J. A. Perez-Venzor elaboro una nueva version del mapa (inedita), en cuyo trabajo final participe J. J. Aranda-Gomez. La interpretacion final de los datos y este in-

forme fueron hechos por los presentes autores, después de visitar nuevamente todas las secciones críticas.

Durante los trabajos de verificación los alumnos Ezequiel Lara-Hernández, José Cruz-Sierra, José Antonio Valero, Eduardo Barrera-Meza e Ignacio Valdés-Osuna fungieron como ayudantes de campo.

Se reconoce la valiosa ayuda del cuerpo de operadores de vehículos de la UABCS, quienes con su paciencia y habilidad lograron llegar hasta zonas casi inaccesibles.

Emigdio Z. Flores, Ramón Pimentel, Héctor García-Monárrez (en preparación), quienes junto con los autores están realizando un estudio geomorfológico del Valle de La Paz y zonas aledañas, permitieron incluir una sección más o menos extensa acerca de la fisiografía de la zona. Muchas de las conclusiones que se obtienen en dicha sección están basadas en observaciones de campo y en los mapas morfométricos elaborados por el grupo. Una discusión extensa de la metodología utilizada se dará a conocer en una publicación próxima a aparecer.

El manuscrito final fue elaborado por J. J. Aranda-Gómez en la Estación Regional del Centro del Instituto de Geología de la UNAM.

Emigdio Z. Flores, Guillermo Labarthe, Fernando Ortega-Gutiérrez y Jim Smith leyeron críticamente el manuscrito y sugirieron modificaciones que mejoraron considerablemente su contenido.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Altamirano, F. J., 1970a, Exploración geológico-minera por oro y plata en la porción meridional de Baja California Sur: Cons. Recursos Nat. No Renovables (México), Seminario sobre exploración geológico-minera, 2, p. 183-206.
- 1970b, Plano geológico de la región meridional del Territorio de Baja California Sur, Hoja La Paz (esc. 1:100,000): Cons. Recursos Nat. No Renovables (México) (inedito).
- Allison, E. C., 1964, Geology of areas bordering Gulf of California: *in* Van Andel, T. H. y Shor, G. G., Jr., eds., Marine geology of the Gulf of California, Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem. 3, p. 3-29.
- Angelier, J., Colletta, B., Chorowicz, J., Ortlieb, Luc, y Rangin, Claude, 1981, Fault tectonics of the Baja California Peninsula and the opening of the Sea of Cortez, Mexico: Jour. Structural Geology, v. 3, p. 347-357.
- Aranda-Gómez, J. J., 1982, El basamento metamórfico en la región de Todos Santos, B.C.S.; informe preliminar: México, D. F., Soc. Geol. Mexicana, Convención Nacional, Programa y Resúmenes, p. 103-104 (resumen)
- Aranda-Gómez, J. J., y Pérez-Venzor, J. A., 1984, Reconnaissance geology of Punta Coyotes: Pacific Section, Am. Assoc. Petroleum Geologists-Soc. Exploration Geophysicists-Soc. Econ. Paleont. and Mineral., 59th Ann. Meeting, Abstr. with Programs, p. 30 (resumen).
- 1986, Reconocimiento geológico de las Islas Espíritu Santo y La Partida, Baja California Sur: Univ. Nal. Auton. México, Inst. Geología, Revista, v. 6, num. 2, p. 103-116.
- en preparación, Estudio geológico del basamento en la región de Todos Santos, Baja California Sur.
- Comisión Norteamericana de Nomenclatura Estratigráfica, 1984, Código estratigráfico norteamericano 1983: México, D. F., Inst. Geología de la UNAM, Soc. Geol. Mexicana y Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, 87 p.
- DEGETENAL, 1980, Carta geológica La Paz: México, D. F., Dir. Estudios del Territorio Nal., escala 1:1,000,000.
- sin fecha, Carta topográfica La Paz, G-12-10-11: México, D. F., Dir. Estudios del Territorio Nal., escala 1:250,000.
- sin fecha, Hoja topográfica provisional El Coyote, G-12-D-73: México, D. F., Dir. Estudios del Territorio Nal., escala 1:50,000.
- sin fecha, Hoja topográfica provisional La Paz, G-12-D-83: México, D. F., Dir. Estudios del Territorio Nal., escala 1:50,000.
- Flores, E. Z., Pimentel, Ramón, Pérez-Venzor, J. A., y García-Monárrez, Héctor, en preparación, Estudio geomorfológico del Valle de La Paz y zonas aledañas.
- Gastil, R. G., Phillips, R. P., y Allison, E. C., 1975, Reconnaissance geology of the State of Baja California: Geol. Soc. America, Mem. 140, p. 59-69.
- Hamilton, Warren, 1971, Recognition on space photographs of structural elements of Baja California: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 718, 26 p.
- Hausback, B. P., 1983, An extensive volatile-charged rhyolite flow, Baja California, México: Geol. Soc. America, Abstr. with Program, v. 15, p. 281 (resumen).
- 1984, Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, México: *in* Frizzell, V. A., Jr., ed., Geology of the Baja California Peninsula, Pacific Section, Soc. Econ. Paleont. and Mineral., v. 39, p. 219-236.
- Higgins, M. W., 1971, Cataclastic rocks: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper, v. 687, 97 p.
- Hyndman, D. W., 1972, Petrology of igneous and metamorphic rocks: Nueva York, McGraw-Hill, p. 231.
- López-Ramos, Ernesto, 1980, Geología de México: México, D. F., t. 2, Segunda ed., p. 1-4, Edición escolar.
- Lozano-Romero, Fernando, 1975, Evaluación petrolífera de la Península de Baja California, México: Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, v. 27, p. 104-329.
- Mattauer, Maurice, 1973, Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre: Paris, Hermann, 493 p.
- Mina-Uhink, Federico, 1957, Bosquejo geológico del Territorio Sur de la Baja California: Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros, v. 9, p. 139-269.
- Miyashiro, Akiho, 1973, Metamorphism and metamorphic belts: London, George Allen and Unwin Ltd., p. 75-76.
- Normark, W. R., y Curray, J. R., 1968, Geology and structure of the tip of Baja California, México: Geol. Soc. America Bull., v. 79, p. 1589-1600.
- Ortega-Gutiérrez, Fernando, 1982, Evolución magmática y metamórfica del complejo cristalino de La Paz, Baja California Sur: México, D. F., Soc. Geol. Mexicana, Convención Nacional, Programa y Resúmenes, p. 90 (resumen).
- Ortlieb, Luc, 1981, Sequence of Pleistocene marine terraces in the Santa Rosalía area, Baja California Sur, México: *in* Ortlieb Luc y Roldán-Quintana, Jaime, eds., Geology of northwestern México and southern Arizona. Hermosillo, Son., Univ. Nal. Auton. México, Inst. Geología, p. 275-293.

- Pantoja-Alor, Jerjes, y Carrillo-Bravo, Jose, 1966, Bosquejo geológico de la region de Santiago-San Jose del Cabo, Baja California: Bol. Asoc. Mex. Geologos Petroleros, v. 18, p. 1-12.
- Ragan, D. M., 1968, **Structural** geology, an introduction to geometrical techniques: Nueva York, John Wiley, p. 149-157.
- Rusnak, G. A., y Fisher, R. L., 1964, Structural history and evolution of Culf of California: in Van Andel, T. H., y Shor, G. C., Jr., eds., Marine geology of the Gulf of California. Am. Assoc. Petroleum Geologists, Mem. 3, p. 144-156.
- Sawlan, M. G., y Smith, J. G., 1984, Petrologic characteristics, age and tectonic setting of **Neogene** volcanic rocks in northem Baja California Sur, Mexico: *in* Frizzell, V. A., Jr., ed., Ceology of the Baja California Peninsula, Pacific Section, Soc. Econ. Paleont. and Mineral., v. 39, p. 237-251.
- Smith, R. L., 1960, Zones and zonal variations in welded ash flows: U. S. Geol. Survey Prof. Paper 354-F, p. 149-154.
- Streckeisen, A., 1976, To each plutonic rock its proper name: **Earth Sci. Reviews**, v. 12, p. 1-33.
- Williams, Howell, y McBirney, A. R., 1979, Volcanology: San Francisco, Freeman, p. 311-318.
- Manuscrito presentado: 19 de junio de 1984.  
Manuscrito corregido devuelto por el autor: 7 de agosto de 1985.  
Manuscrito aceptado: 8 de enero de 1986.
-