

## RECONOCIMIENTO GEOLOGICO DE LAS ISLAS ESPIRITU SANTO Y LA PARTIDA, BAJA CALIFORNIA SUR

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

### RESUMEN

El área de estudio está situada 20 km al NNW de la ciudad de La Paz, capital del Estado de Baja California Sur. En la porción suroriental de la Isla Espíritu Santo afloran augengneises de composición granítica y de posible edad cretácica. El rasgo más notable de estos gneises es la presencia de dos foliaciones, sugiriendo la existencia de cuando menos dos períodos de deformación asociados al metamorfismo. Dentro de estos gneises se observan diques (?) máficos que fueron deformados plásticamente.

Una secuencia gruesa de rocas volcánicas y de sedimentos volcanoclásticos del Mioceno aflora en la mayor parte de las islas. Estas rocas son similares a las expuestas en Punta Coyotes y en los alrededores de La Paz. Con base en las relaciones de campo y en la escala en la que se elaboró este estudio, fue posible dividir la secuencia en siete unidades cartografiables a escala de 1: 80,000.

Una vista panorámica de las islas sugiere que las mismas están formadas por una secuencia de derrames cineríticos (*ash-flow tuffs*) inclinada suavemente ( $\sim 10^\circ$ ) hacia el NW. Un examen más detallado revela la presencia de paleocanales rellenos por sedimentos volcanoclásticos basálticos que alteran el patrón fundamental marcado por las ignimbritas riolíticas y riocácicas. Las rocas volcánicas más recientes son basaltos olivínicos, algunas veces con analcima (?). Estos derrames de lava también tienden a rellenar paleocanales.

En la porción oriental de las islas se pueden observar numerosas fallas que cortan a las rocas volcánicas y volcanoclásticas. Las fallas en su mayoría son de tipo normal y tienen una inclinación mayor que  $75^\circ$  al NE o SW. Se cree que estas fallas estén relacionadas genéticamente con la abertura del Golfo de California y que sean continuación de fallas identificadas anteriormente dentro de la península en el área de Punta Coyotes.

### ABSTRACT

The studied area is 20 km to the NNW of La Paz, Baja California Sur. The Cretaceous (?) basement crops-out in the southeastern portion of the Isla Espíritu Santo. The crystalline rocks are augen gneisses of granitic composition. The most remarkable feature of these rocks is the presence of two foliations, suggesting the existence of at least two periods of deformation. Within these gneisses mafic dikes occur which have been plastically deformed.

A thick sequence of Miocene volcanic and volcanoclastic rocks covers the islands. These rocks are similar to those that crop-out in Punta Coyotes and close to La Paz. Based on field relations and on the scale of the map (1: 80,000), it was possible to divide the sequence into seven mappable units.

An overview of the islands suggests that these are formed by a sequence of ash-flow tuffs which are gently dipping ( $\sim 10^\circ$ ) toward the NW. Geologic mapping shows the presence of channels filled with volcanoclastic sediments of basaltic composition. These epiclastic deposits modify the basic pattern formed by the ignimbrites. The youngest rocks in the islands are olivine basalts which sometimes contain analcime (?) phenocrysts. These basalts also filled fluvial channels.

A conjugated system of high-angle normal faults crops-out in the eastern parts of both islands. The general attitude of the faults is  $N 30^\circ W$  and they dip  $70 - 85^\circ$  toward the NE or SW. It is believed that these faults are related to the opening of the Gulf of California and that they are the continuation of faults already mapped in the Punta Coyotes area.

### INTRODUCCION

La Universidad Autónoma de Baja California Sur, a través del Centro Interdisciplinario de Investigación

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

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

y del Departamento de Geología, emprendió una serie de estudios geológicos en la porción meridional de la Península de Baja California Sur. En los últimos años se llevó a cabo la cartografía geológica en una franja de terreno que se extiende desde la ciudad de La Paz, en la parte septentrional, hasta Todos Santos, en la parte meridional. Esta investigación se propició como una extensión lógica de estos proyectos (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en preparación; Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa; Flores *et al.*, en preparación), porque

las islas están situadas dentro de la misma comarca geográfica (Figura 1).

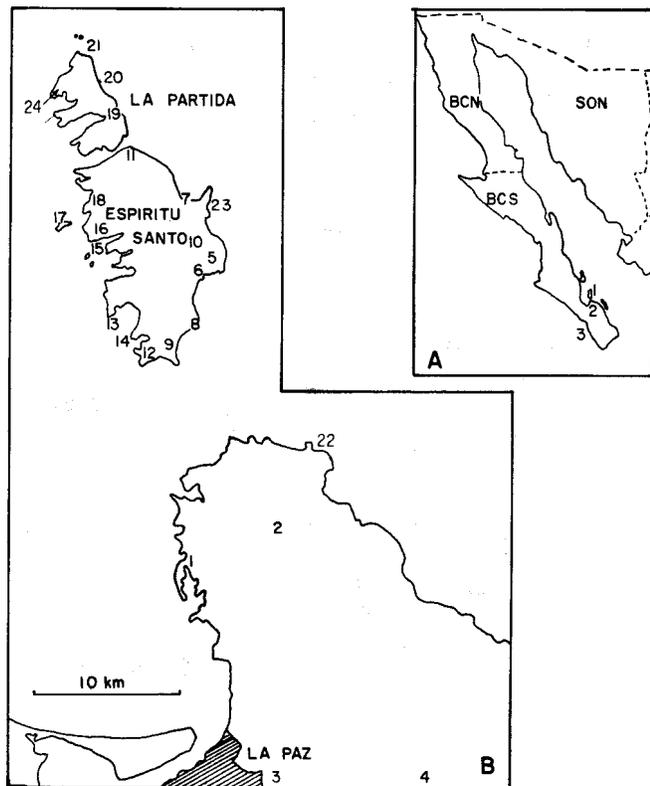


Figura 1.- Planos de localización e índice de localidades citadas en el texto. A. Las localidades señaladas son: 1. Islas Espíritu Santo y La Partida, 2. La Paz y 3. Todos Santos. B. Las localidades señaladas corresponden a aquéllas mencionadas en el texto.

#### OBJETIVOS

Las investigaciones que se llevan a cabo en los alrededores de Todos Santos (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en preparación), Punta Coyotes (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa) y en el Valle de La Paz (Flores *et al.*, en preparación) generaron varias hipótesis de trabajo, algunas con implicaciones de carácter regional, por lo que fue necesario salir del ámbito restringido de cada una de estas áreas para probar si eran adecuadas.

El estudio de las rocas cristalinas, que constituyen el basamento en la región, permitió llegar a la conclusión de que la región ha sido afectada cuando menos por dos períodos de fallamiento. Puede diferenciarse con facilidad los productos de estos eventos en el campo, pues ocurrieron bajo regímenes de presión-temperatura distintos. El evento tectónico más antiguo sólo afectó al basamento, produciendo rocas cataclásticas con cohesión primaria y estructuras de flujo (*fluxion structure*, Higgins, 1971), características de que la presión y la temperatura fueron altas cuando se originó el fallamiento (Higgins, 1971; Gillen, 1982). También existen otras fallas que afectan al basamento y cortan a todas

las rocas más jóvenes que afloran en el área, originando productos desprovistos de cohesión primaria (*e. g.* brechas cataclásticas). Se han reconocido las rocas cataclásticas antiguas a toda la anchura de la península, desde Todos Santos (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en preparación) hasta los alrededores de La Paz (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa) y definen un alineamiento que corre burdamente de norte a sur (Figura 1A). Las estructuras de flujo tienen actitudes que varían de acuerdo con el área, aun cuando en términos generales tienen rumbos de pocos grados al noreste o noroeste e inclinación al SE o NE.

Las fallas más recientes se presentan en distintos juegos, el más notable e importante con rumbos al N ( $\pm 15$  ó 20 al E y W) y otros con rumbo al N 50-60 W.

Se supone que las fallas antiguas están relacionadas con el evento tectónico que dio origen a las rocas metamórficas que afloran en la región y que las fallas más recientes tienen su origen en eventos posteriores, relacionados posiblemente con la abertura del Golfo de California. La pregunta que se plantea es la siguiente: ¿influyó de alguna manera la localización de la zona de falla antigua en el desarrollo y orientación de las fallas más recientes? La coincidencia del alineamiento de los afloramientos de rocas cataclásticas en el basamento, con la actitud estructural de algunas de las fallas "jóvenes" más importantes, hacen pensar que esto sea factible.

En los alrededores de La Paz y en Punta Coyotes afloran rocas volcánicas y sedimentos epiclásticos de origen volcánico. La cartografía geológica en la región y el carácter de algunas de las unidades condujeron a los presentes autores a considerar la siguiente hipótesis de trabajo que contempla que en las cercanías de Pichilingue (Figura 1B; localidad 1) existió uno o más centros volcánicos (Figura 1B; localidad 2) el cual, al mismo tiempo que estuvo activo, fue rápidamente erosionado; que los sedimentos epiclásticos de origen volcánico que constituyen la Formación Comondú en los alrededores de La Paz (Figura 1B; localidad 3) a unos 15 ó 20 km al sur del área de Pichilingue, representan la parte más alejada de los aparatos volcánicos, mientras que las brechas y aglomerados volcánicos del Cerro de El Rosario (Figura 1B; localidad 2) constituyen facies más cercanas a los conos y, finalmente, que las islas de Espíritu Santo y La Partida son los afloramientos de rocas volcánicas del Terciario más próximos a Punta Coyotes. Por tanto, es lógico tratar de obtener evidencia complementaria en dicha región.

Las investigaciones geológicas que se están llevando a cabo como parte del estudio del acuífero del Valle de La Paz (Flores *et al.*, en preparación) tienen como una de sus metas establecer las fronteras impermeables y la forma de la cuenca. Los informes geológicos acerca de esta área consideran que el Valle de La Paz corresponde estructuralmente a una fosa tectónica (Lozano-Romen, 1975; Altamirano, sin fecha). Es frecuente reco-

nocer en las fotografías aéreas alineamientos marcados y en los mapas topográficos, anomalías notables en la red de drenaje que son interpretadas como fallas. Sin embargo, cuando se quiere verificar en el terreno dichas estructuras, es difícil obtener el sentido y cantidad de movimiento relativo en las fallas, debido a la falta de "capas o estructuras guías" en el basamento y a la complejidad estratigráfica y estructural en el campo volcánico de Punta Coyotes.

El reconocimiento geológico de las islas se inició con el propósito de obtener respuestas a las siguientes preguntas: (1) ¿Cuál es la composición de las rocas del basamento en Espíritu Santo?; (2) ¿Existen rocas cataclásticas con estructuras de flujo en el basamento de las islas?; (3) ¿Son las rocas volcánicas aflorantes comparables a las estudiadas en Punta Coyotes-La Paz?; (4) ¿Cómo "encajan" estas rocas volcánicas en nuestra hipótesis de trabajo acerca de los supuestos centros volcánicos?; y (5) ¿Qué tipo de fallas es el que aflora en los acantilados nororientales de las islas?

#### METODO DE TRABAJO

En el transcurso de esta investigación, se levantó un mapa geológico de reconocimiento de las islas (Figura 2). La cartografía se realizó utilizando como base fotografías aéreas verticales en blanco y negro, a escala de 1: 80,000. La verificación de campo se efectuó utilizando una lancha con la cual se navegó varias veces alrededor de ambas islas; ayudándonos a establecer unidades litológicas identificables fácilmente, tanto en el terreno como en las fotografías aéreas. También se hicieron varios caminamientos en áreas accesibles, especialmente en la ladera occidental de las islas, donde se identificó y describió megascópicamente cada unidad. Aun cuando la verificación, en la mayoría de los casos, se hizo desde "distancia prudente", el mapa de reconocimiento es confiable a su escala, dada la naturaleza de las rocas volcánicas que dominan la secuencia estratigráfica. Algunas de las unidades más notables están formadas por derrames cineríticos (*ash-flow tuffs*), que frecuentemente tienen zonas de piroconsolidación densa, más resistentes a la erosión, y forman acantilados fácilmente identificables en las fotografías aéreas. Respecto al patrón de afloramiento de varias unidades, puede trazarse con gran precisión a través de distancias considerables, tanto en las fotografías aéreas como en el campo.

El mapa que acompaña a este estudio (Figura 2) se elaboró calcando directamente el perímetro de la isla de las fotografías aéreas y los contactos geológicos marcados. Por tanto, no puede considerarse como un mapa en el sentido estricto de la palabra, ya que no se hicieron correcciones por errores de paralaje o por aberraciones en los lentes de la cámara fotográfica.

#### ANTECEDENTES

En 1983, cuando se inició esta investigación, no existía trabajo alguno publicado acerca de la geología de las islas. Sin embargo, cuando este informe estaba casi terminado, apareció el artículo de Hausback (1984) intitulado "Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, Mexico". Este artículo incluye una columna estratigráfica de las islas, un mapa geológico a la escala de 1: 250,000 y frecuentemente se hace referencia a las rocas que en ellas afloran, comparándolas con aquéllas que se presentan en el campo volcánico de Punta Coyotes, en San Juan de La Costa y en otras áreas más septentrionales. Diversas conclusiones de Hausback coinciden con las del presente artículo, aun cuando existen algunas diferencias significativas en el mapa geológico. El artículo citado contiene abundantes datos geocronométricos y químicos pero carece de descripciones pormenorizadas de las unidades litológicas aflorantes, por lo que se considera complemento del presente artículo y el lector deberá referirse a él (Hausback, *op. cit.*).

Es también importante mencionar que Hausback nombra algunas de las unidades informales en que dividió las rocas volcánicas de las islas; sin embargo, como en su artículo no se describen, se decidió no modificar la nomenclatura estratigráfica. Hausback (*op. cit.*) considera a sus unidades como miembros de la Formación Comondú. Recientemente, Sawlan y Smith (1984) mostraron argumentos convincentes y válidos (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983, p. 855) para el abandono del término "Formación Comondú". Los presentes autores aceptan la petición de Sawlan y Smith y se proponen publicar junto con Hausback definiciones formales para las unidades litoestratigráficas de la región.

#### MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La franja que coincide con la localización de Todos Santos, La Paz y Punta Coyotes (Figura 1A) constituye una importante frontera geológica. Este alineamiento divide a la Península de Baja California en dos grandes provincias geológicas. Al W y al NNW de ella, la península está constituida por un paquete grueso de rocas volcánicas y sedimentarias del Neogeno. Estas rocas forman un extenso monoclinado inclinado suavemente hacia el poniente.

Al oriente y sur-suroriental de la franja, afloran rocas cristalinas del Cretácico Superior y algunas rocas sedimentarias del Neogeno. En esta región existe una alternancia de sierras y valles que se alinea burdamente en dirección N-S y se ha interpretado (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa; Lozano-Romen, 1975; Altamirano, sin fecha) como pilares y fosas tectónicas.

Las Islas Espíritu Santo y La Partida, así como la porción occidental de Punta Coyotes (Figura 1B), son

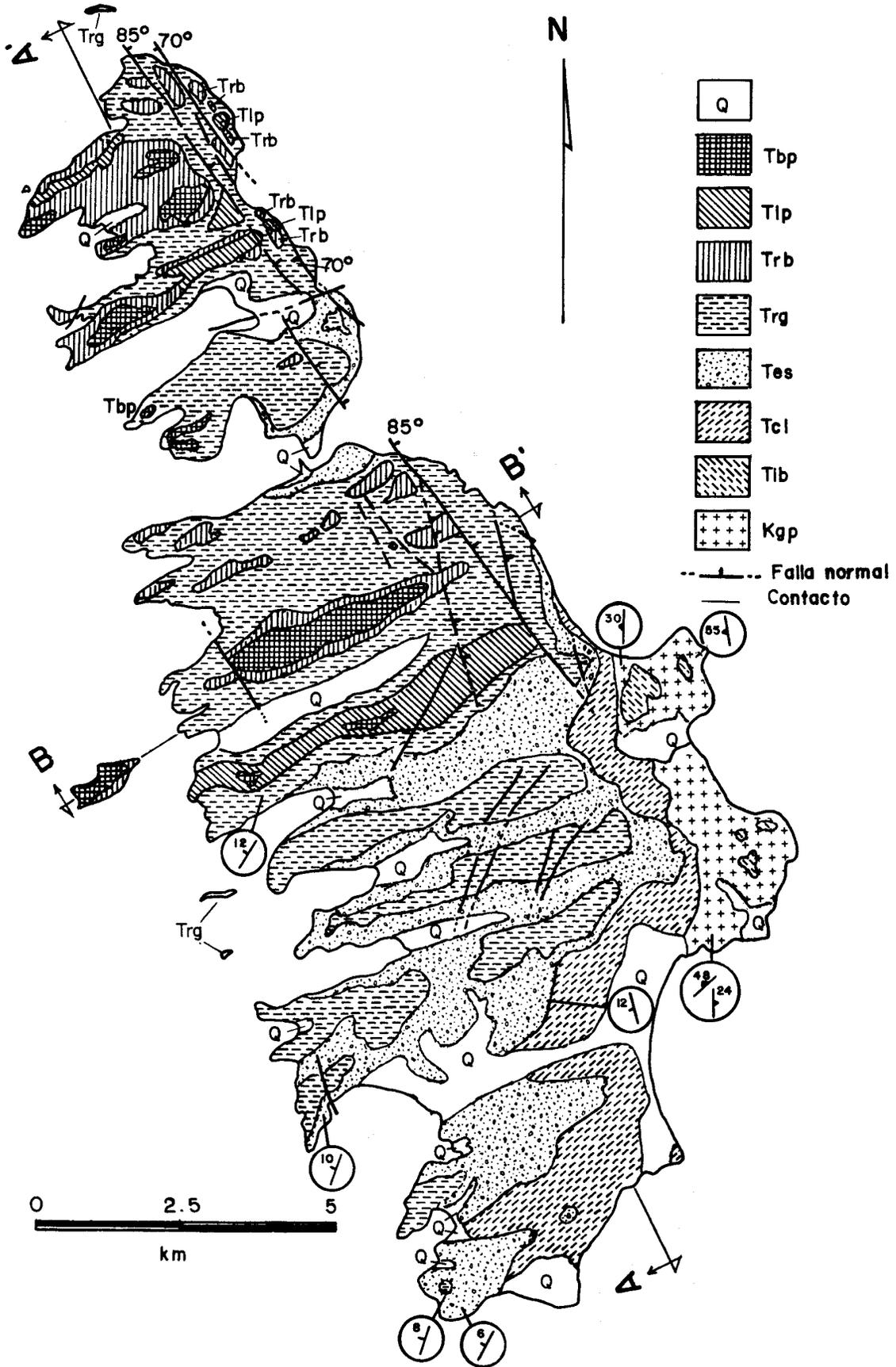


Figura 2.- Mapa geológico de reconocimiento de las islas Espiritu Santo y La Partida, Baja California Sur. Los símbolos utilizados en la leyenda son: Q = Depósitos cuaternarios de playa y talud principalmente; Tbp = basalto olivinico Punta Tintorera; Tlp = conglomerado volcániclastico La Partida; Trb = ignimbrita riódacítica La Ballena; Trg = ignimbrita riolítica El Gallo; Tes = conglomerado volcániclastico Espiritu Santo; Tci = complejo volcánico Punta Lupona; Tib = ignimbrita riolítica La Bonanza, y Kgp = Augengneis granítico Pailebot.

los afloramientos más orientales de las rocas volcánicas del Terciario medio en la región, y parecen estar atravesados por la frontera geológica anteriormente mencionada.

En las islas afloran rocas cristalinas graníticas mesozoicas (?) y un paquete grueso compuesto por rocas piroclásticas y volcánicas del Mioceno (Hausback, 1984). Es posible observar importantes fallas, en los acantilados orientales de las islas, con un fuerte componente normal.

## ESTRATIGRAFIA

### SISTEMA CRETACICO (?)

Las rocas más antiguas de las islas afloran en la porción oriental de Espíritu Santo, en la región conocida como La Bonanza (Figura 1B, localidad 5). Estas rocas se consideran parte de lo que se ha llamado el "basamento" (Aranda-Gómez, 1982) o "Complejo cristalino de La Paz" (Ortega-Gutiérrez, 1982) y tienen composición granítica bastante uniforme, por lo que es apropiado cartografiarlas como una sola unidad, a la que informalmente se dio el nombre de "Augengneis granítico Pailebot".

El trabajo geocronométrico (K-Ar) llevado a cabo por Frizzell y colaboradores (comunicación escrita, 1984) sobre el basamento, en la región comprendida entre La Paz y Cabo San Lucas, indica que la edad mínima de las rocas del complejo metamórfico es cretácica ( $\sim 100-60$  Ma).

*Augengneis granítico Pailebot* (Kgp).- Son granitos (*sensu stricto*) de grano grueso, compuestos por ortoclasa > plagioclasa > cuarzo > biotita. Sus rasgos más prominentes son la textura foliada con grandes porfidoclastos (?) en forma de "ojos" (augen) de feldespato potásico y la presencia de dos foliaciones perfectamente visibles. Higgins (1971) indica que la textura foliada con augen es un rasgo común en cierto tipo de rocas cataclásticas, pero que no debe considerarse como un indicador absoluto de metamorfismo dinámico, ya que se sabe que algunos augens han crecido en forma de porfidoblastos. El estudio petrográfico de seis muestras del gneis no aportó pruebas incontrovertibles de un origen cataclástico, porque la textura es difícil de apreciar al microscopio por el tamaño del grano.

Una de las muestras estudiadas, que fue recolectada en las cercanías de la localidad 10 (Figura 1B), incluye granate de color rojo, parcial a totalmente reemplazado por epidota. La muestra difiere de las otras porque tiene grano más pequeño y porque carece casi completamente de biotita.

En los acantilados situados entre La Bonanza y Pailebot (Figura 1B; localidades 6 y 23, respectivamente) es posible observar grandes "franjas negras" de rocas máficas, con varias decenas de metros de longitud, las cuales frecuentemente están deformadas y plegadas

(Figura 3). Estos cuerpos tabulares, intensamente foliados, están compuestos principalmente por hornblenda y andesina ( $Ab_{55-60}$ ) y en menor proporción por biotita, parcial a totalmente cloritizada, y cuarzo. Se cree que sean diques de composición cuarzodiorítica a tonalítica los cuales fueron intensamente deformados y parcialmente disgregados bajo condiciones que los hicieron comportarse plásticamente.

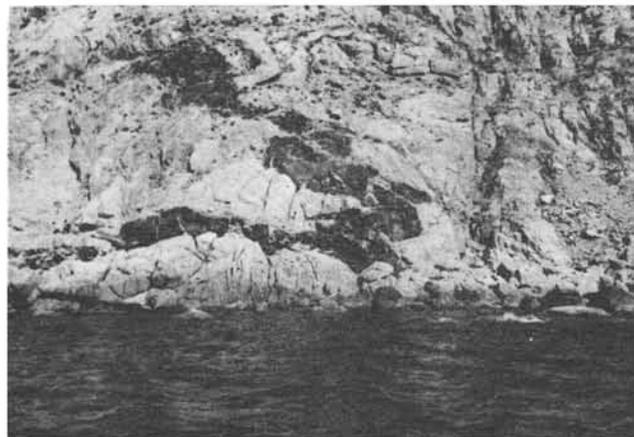


Figura 3.- Bandas de rocas máficas incluidas dentro del augengneis granítico Pailebot. Estos cuerpos son interpretados como diques máficos que fueron intensamente deformados y disgregados.

Uno de los rasgos más notables de los afloramientos del augengneis es la presencia de juegos conspicuos de fracturas. En las localidades 6 y 23 (Figura 1B) se midieron, respectivamente, 93 y 62 fracturas verticales o casi verticales ( $> 75^\circ$ ) y esta información se utilizó para elaborar las rosetas de fracturas mostradas en la Figura 4. La roseta medida en Pailebot muestra que existen dos direcciones preferentes de fracturamiento: N-NNE y NW, existiendo otros juegos menos conspicuos con dirección NNW y ENE.

Las rocas del complejo cristalino que afloran en Espíritu Santo tienen varias características que las diferencian de otras que han sido estudiadas en Todos Santos (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en preparación) y en Punta Coyotes (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa). Estas diferencias son las siguientes:

1) En la península los ortogneises que presentan estructuras de flujo marcadas son principalmente de composición tonalítico-granodiorítica. Solamente en las cercanías de Santa Inés, en la región de Todos Santos, se han encontrado gneises félsicos con texturas cataclásticas. Sin embargo, éstos son trondhjemitas con muy poco feldespato potásico.

2) Los ortogneises de Espíritu Santo, a pesar de tener una composición mineralógica parecida al granito de Las Cruces (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa), difieren en que contienen los "diques" máficos; mientras

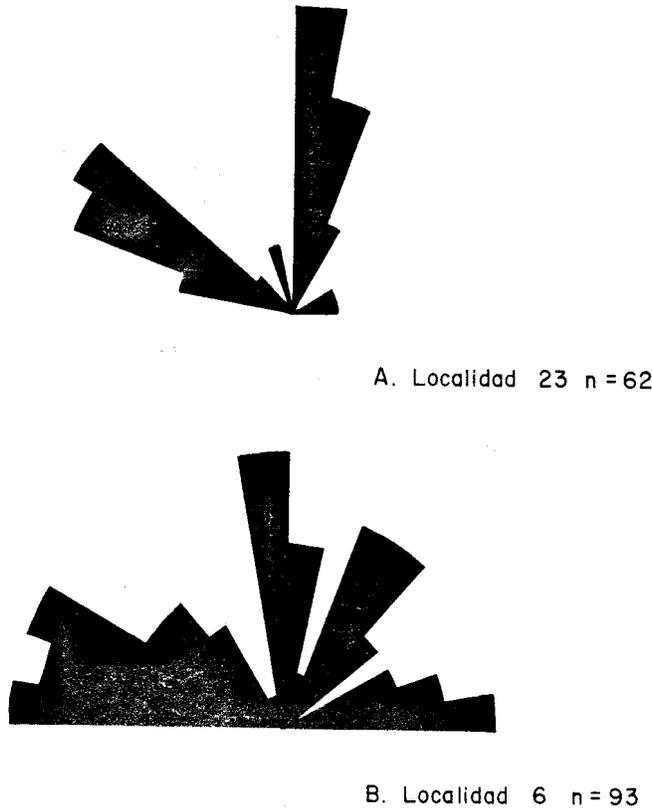


Figura 4.- Rosetas de fracturas verticales y subverticales ( $> 75^\circ$ ) medidas en Pailebot (Figura 1B; localidad 23) y La Bonanza (Figura 1B; localidad 6).

que en el granito de Las Cruces, sólo se han observado diques de aplita y pegmatita con turmalina y granate.

3) El granito de Las Cruces no parece haber sido deformado.

4) La única zona en que se han observado rocas con dos foliaciones claramente definidas es en el Arroyo de El Cajoncito, aguas abajo de la Presa de La Buena Mujer. Sin embargo, ahí se interpretó como la intersección de dos fallas antiguas (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa). En Espíritu Santo, la segunda fo-

liación es paralela al plano axial de los micropliegues que presenta la primera foliación.

Por tanto, actualmente no es posible hacer una correlación de las rocas del Pailebot con alguna de las unidades reconocidas hasta ahora en el Complejo cristalino de La Paz.

SISTEMA TERCIARIO (MIOCENO)

La mayor parte de las islas está constituida por un grueso paquete de rocas volcanoclásticas de naturaleza máfica a félsica. Dada la cercanía de las islas con Punta Coyotes, se cree que algunas de estas rocas puedan correlacionarse con las rocas de dicha área (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa; Hausback, 1984).

Vistas desde la distancia o desde el aire, las islas parecen estar constituidas por unidades estratificadas de forma tabular inclinadas suavemente hacia el poniente (Figura 5). En efecto, el carácter general de la secuencia y su expresión geomorfológica están dominados por la presencia de dos unidades que contienen derrames cineríticos de composición riolítica o riodacítica.

Al proceder con la fotointerpretación, se utilizó el modelo que se muestra en la Figura 6 y rindió frutos satisfactorios en el sentido de que una vez reconocido este patrón de distribución, se le observó ligeramente modificado por la presencia de canales fluviales miocénicos, parcial o totalmente rellenos de conglomerados volcanoclásticos (Figura 7) o por derrames de lava basálticos (Figura 8), cuyo flujo se controló con el patrón de drenaje (*intra-canyon flows*). Asimismo, se apreció que en la porción nororiental de las islas las rocas se encontraban afectadas por un sistema de fallas normales y que en la región del Pailebot (Figura 1B; localidad 5) afloraban rocas del complejo cristalino.

Con base en las características litológicas de la secuencia y en la escala en que se efectuó el reconocimiento, fue posible establecer siete unidades cartografiables pertenecientes al paquete volcanoclástico (Figura 9). A continuación se presentan las descripciones

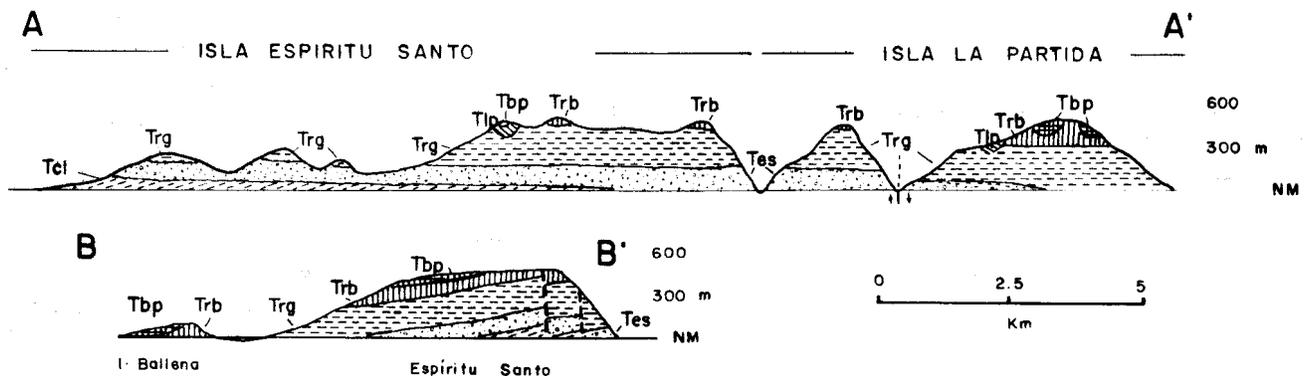


Figura 5.- Secciones geológicas diagramáticas AA' y BB'. El perfil topográfico se elaboró con base en la Hoja La Paz, G12-10-11, escala 1: 250,000 de INEGI. Símbolos utilizados igual que los de la Figura 2.

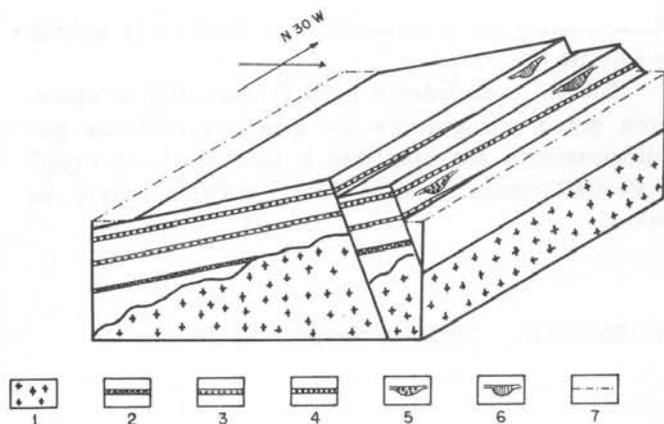


Figura 6.- Modelo utilizado para la fotointerpretación: se consideró que el patrón de afloramientos está controlado por varias unidades (2, 3, 4) de forma tabular inclinadas suavemente al NW. Las únicas modificaciones necesarias se debieron a la presencia de paleocanales rellenos de conglomerados y derrames de basalto, (5 y 6) y al sistema de fallas normales en las laderas nororientales de las islas. Otros símbolos: 1 = complejo cristalino y 7 = nivel del mar.

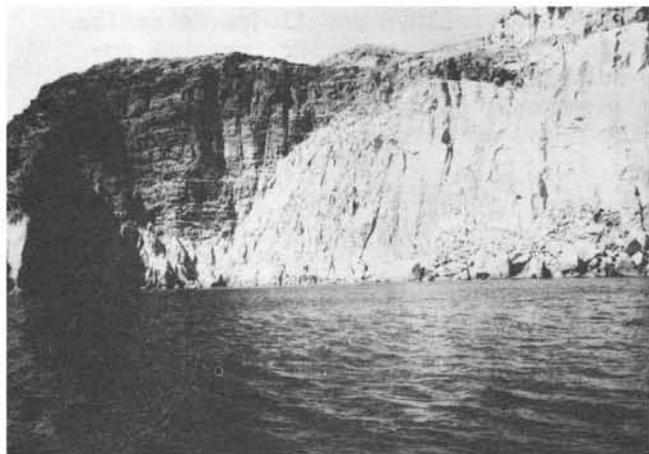


Figura 7.- Paleocanal relleno por el conglomerado volcanoclastico La Partida. El canal corta a la ignimbrita rioclastica La Ballena. Localidad 20 (Figura 1B), Isla La Partida.

de estas unidades informales, de acuerdo con su edad aparente, de la más antigua a la más reciente.

**Ignimbrita La Bonanza (Tib).**- Esta unidad aflora en forma de testigos de erosión pequeños, que descansan directamente sobre los gneises graníticos (Kgp) en la porción suroriental de la Isla Espíritu Santo (Figura 1B; localidad 5). La ignimbrita está constituida por rocas de color café rojizo, merocrystalinas, microporfídicas, relativamente pobres en microfenocristales. Tanto en el campo como en lámina delgada es posible distinguir claramente su textura eutaxítica y algunos fragmentos líticos (¿accesorios?). La mineralogía de los microfeno-



Figura 8.- Paleocanal relleno por un derrame del basalto olivínico Punta Tintorera. El antiguo arroyo cortaba la parte superior no piroconsolidada y el vitrificado de la ignimbrita rioclastica La Ballena. Nótese la variación de espesor en el vitrificado atí buida a compactación diferencial. Localidad 17, cara noroccidental del Islole Ballena.

nocrystalinos es: sanidino > plagioclasa > cuarzo. Sólo se observó desvitrificación incipiente en algunos de los fragmentos más grandes de pómez colapsada.

Los gneises que subyacen a esta unidad se encuentran parcialmente teñidos por los óxidos de hierro que provienen del intemperismo de estas ignimbritas.

La ignimbrita La Bonanza no se encuentra cubierta por otra unidad, por lo que se ignora cuál sea su relación de edad con otras de la secuencia volcanosedimentaria. En algunos lugares (e. g. Figura 1B; localidad 7) se observó una gran cantidad de fragmentos de basalto vesicular cubriendo a esta unidad. Hausback (1984) obtuvo una edad absoluta (K-Ar, roca total) de  $21.2 \pm 0.2$  Ma para esta ignimbrita.

**Complejo volcánico Punta Lupona (Tcl).**- Esta unidad aflora en las porciones meridional y suroriental de la Isla Espíritu Santo. Aparentemente son las rocas más antiguas del paquete volcanosedimentario, aunque se ignora cuál sea su relación con las rocas del basamento cristalino (Kgp) y con la ignimbrita La Bonanza (Tib). El contacto entre el Complejo volcánico Punta Lupona y el augengneis se ve oscurecido por depósitos extensos de talud en la región comprendida entre las localidades 6 y 7 (Figura 1B), por lo que es difícil definir si el complejo se encuentra en contacto de falla con el augengneis o si la unidad volcánica se acuña contra un alto en el basamento.

Litológicamente la unidad es extremadamente heterogénea y estructuralmente caótica, lo que hace pensar que es correlacionable con el complejo volcánico basal de Punta Coyotes (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa). En ella se observaron brechas basálticas monolitológicas compuestas por fragmentos angulares

a subredondeados, de color gris oscuro, parcial a totalmente alterados. También se presentan tobas brechoides intensamente alteradas con fragmentos angulares que "flotan" en una matriz de grano fino. El color de estas rocas alteradas varía de verde limón a verde oscuro (Figura 1B; localidad 7). En muchos lugares (e. g. Figura 1B; localidad 8) las rocas están teñidas

selectivamente de color bermellón, dando a la unidad un aspecto abigarrado.

En las localidades 9 y 10 (Figura 1B) se observaron grandes fragmentos de areniscas arcósicas que litológicamente son similares a las "areniscas rojas" de Punta Coyotes (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa).



DEPOSITOS RECIENTES SIN DIFERENCIAR. Incluye depósitos de playa, talud, aluvi6n, etc.

BASALTO OLIVINICO PUNTA TINTORERA. Ocupa paleocanales y presenta burdas juntas columnares en su parte media. La cima es vesicular y oxidada. Hausback (1984) obtuvo una edad de  $16.5 \pm 0.3$  Ma (K-Ar, roca total).

CONGLOMERADO VOLCANICLASTICO DE LA PARTIDA. Epiclástico, predominantemente basáltico con riolita subordinada. Ocupa canales que cortan a las Ignimbritas Ballena y/o El Gallo.

IGNIMBRITA RIODACITICA DE LA BALLENA. Presenta un delgado ( $\sim 3-5$ m) vitrófido color negro rojizo con pliegues de compactación. En el Islote Ballena (Figura 1B, Localidad 17) tiene un espesor de aproximadamente 25m.

IGNIMBRITA RIOLITICA DE EL GALLO. La unidad incluye dos flujos de ceniza separados por un depósito epiclástico. El miembro superior presenta zonamiento debido a compactación y soldamiento. Color rojizo con un vitrófido que forma acantilados. Tiene un espesor aproximado de 195m en la localidad 16 (Figura 1B). El vitrófido negro en esta localidad mide aproximadamente 15m.

CONGLOMERADO VOLCANICLASTICO ESPIRITU SANTO. Incluye conglomerados y areniscas predominantemente basálticas. Rasgos epiclásticos como relleno de canales, estratificación gradada y cruzada son muy comunes. En la localidad 9 (Figura 1B) se le estimó un espesor de 105m.

COMPLEJO VOLCANICO DE PUNTA LUPONA. Extremadamente heterogéneo y caótico. Incluye brechas basálticas y rocas piroclásticas félsicas. Intensamente alterado, con colores abigarrados. Su espesor fue estimado en 95m en la localidad 9 (Figura 1B).

IGNIMBRITA RIOLITICA DE LA BONANZA. Descansa directamente sobre el gneiss, pobre en cristales, color café rojizo, parcialmente soldada. En algunos lugares está cubierta por fragmentos de un basalto vesicular. Hausback (1984) obtuvo una edad de  $21.2 \pm 0.2$  Ma (K-Ar, biotita).

AUGENGNEIS GRANITICO PAILEBOT. Compuesto por ortoclasa > cuarzo > plagioclasa > biotita. Presenta dos foliaciones y frecuentemente contiene inclusiones máficas (10's de m de longitud) fuertemente deformadas.

✱ Hace resaltar las discordancias erosionales.

Figura 9.- Columna estratigráfica esquemática de las islas Espíritu Santo y La Partida, Baja California Sur (los espesores no se muestran a escala).

El rasgo distintivo de esta unidad es la intensa clorotización de muchas de sus rocas, lo que la hace fácilmente identificable. Se cree que la alteración está íntimamente asociada al sistema de fallas de Espíritu Santo-La Partida, ya que se observaron alteraciones similares, aunque no tan intensas, en el complejo volcánico basal en las cercanías del sistema de fallas de Punta Coyotes (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa).

**Conglomerado volcániclastico Espíritu Santo (Tes).**- Este conglomerado subyace al derrame piroclástico inferior de la ignimbrita El Gallo (Trg) y sobreyace al complejo volcánico Punta Lupona (Tcl). Ambos contactos están marcados por discordancias erosionales (Figura 9). La unidad se encuentra extensamente distribuida en las porciones meridionales de ambas islas (Figura 2). En la localidad 11 (Figuras 1B y 10) descansa (¿discordantemente?) sobre la porción no piroconsolidada, de color rosa, de un derrame cinerítico riolítico o riolacítico. Se ignora cuál es la relación entre esta unidad (que no fue cartografiada por separado) y el complejo volcánico de Punta Lupona.

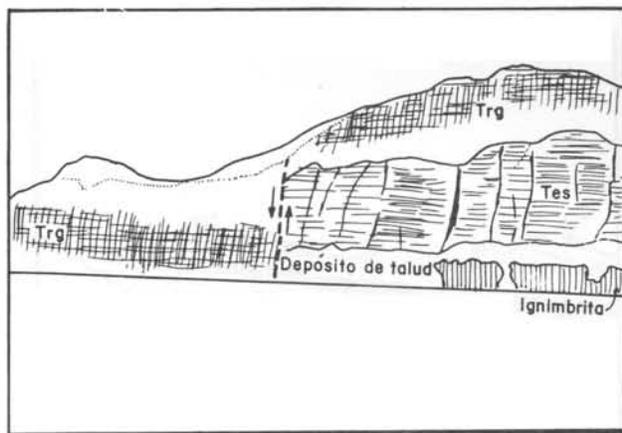


Figura 10.- Falla de Espíritu Santo que pone en contacto a la ignimbrita riolítica El Gallo (Trg) con el conglomerado volcániclastico Espíritu Santo (Tes) en la localidad 11 (Figura 1B). Abajo de Tes, parcialmente cubierta por depósitos de talud aflora una ignimbrita félsica de poca piroconsolidación y sin alterar. Esta última unidad no se muestra en la Figura 2.

La unidad está compuesta por paraconglomerados monolitológicos de composición basáltica, que alternan con areniscas y areniscas conglomeráticas de la misma composición. El depósito varía de pobremente a bien estratificado. Son muy comunes los rasgos como diastratificación, estratificación gradada y relleno de paleocanales (Figura 11). En las localidades 12 y 13 (Figura 1B) está formada por una alternancia de conglomerados volcániclasticos de composición basáltica, compuestos por guijarros grandes y cantos rodados pequeños, que varían de subredondeados a bien redondeados. La matriz es de la misma composición y está compuesta por guijas medianas a gruesas de forma subangular. El espesor promedio de las capas de conglomerado es de 1.5 m. Alternando con estos conglomerados y formando aproximadamente un 40% del depósito, se encuentran areniscas conglomeráticas, bien estratificadas, en capas con un espesor promedio de 1 m. En estas localidades la posición de las capas es N 20 E, 10 NW y es común observar las estructuras sedimentarias mencionadas anteriormente.



Figura 11.- Conglomerado volcániclastico Espíritu Santo en los acantilados orientales de la isla. Nótese la presencia de numerosos canales intraformacionales rellenos de rocas epiclasticas.

**Ignimbrita riolítica El Gallo (Trg).**- Esta unidad se encuentra extensamente distribuida en ambas islas (Figura 2). Sobreyace discordantemente (?) al conglomerado volcánico Espíritu Santo y subyace a la ignimbrita riolacítica La Ballena (Trb). El contacto con la unidad suprayacente se fijó arbitrariamente unos cuantos metros debajo del vitrófido de la ignimbrita riolacítica La Ballena, por ser más fácil su ubicación, tanto en el campo como en las fotografías aéreas. En algunos lugares se observó una superficie erosional que separa la cima del flujo de cenizas superior de la ignimbrita riolítica El Gallo, de la base no soldada del flujo de cenizas de la ignimbrita riolacítica La Ballena.

Existe la certeza de que esta ignimbrita se formó, cuando menos, en dos eventos volcánicos distintos. En

la localidad 13 (Figuras 1B y 12) puede apreciarse con claridad esto, ya que hay dos tobas separadas por un depósito epiclástico relleno un paleocanal.

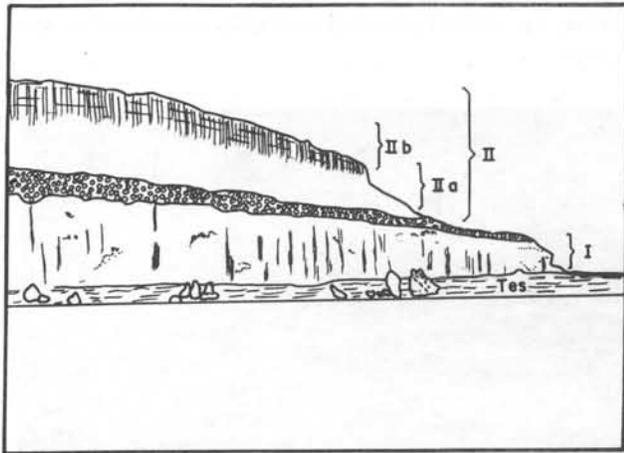


Figura 12.- La ignimbrita riolítica El Gallo está constituida cuando menos por dos derrames cineríticos (I y II) separados por un depósito epiclástico, compuesto por conglomerado basáltico. El derrame superior muestra zoneamiento debido a piroconsolidación y compactación, con una zona sin piroconsolidación (IIa) que cambia gradualmente a una zona parcialmente piroconsolidada con diaclasas burdamente columnares (IIb). En la localidad 13 (Figura 1B) sobreyace al Conglomerado volcanoclástico Espíritu Santo.

El derrame cinerítico inferior fue observado solamente en el extremo suroccidental de la Isla Espíritu Santo y está constituido por una toba rosa de lapilli sin piroconsolidación. Su mineralogía es: sanidino > cuarzo > plagioclasa > biotita. La lámina delgada estudiada no presenta desvitrificación. En los lugares en que fue estudiada, se observó que este derrame tiende a formar oquedades, (¿tafoni?) que en los afloramientos la hacen semejante a la toba de Las Calaveras de Punta Coyotes (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, 1984b) y que incluye algunos fragmentos líticos accidentales de basalto.

En la porción ubicada entre las localidades 12 y 13 (Figura 1B) aflora un ortoconglomerado volcanoclástico que rellena lo que parece ser un paleocanal en la ignimbrita inferior. El espesor máximo de este depósito se encuentra cerca de la localidad 14 (Figura 1B) y tiende a disminuir y desaparecer hacia los lados.

La ignimbrita superior se encuentra bien expuesta en la localidad 15 (Figuras 1B y 13) y muestra el zoneamiento característico de una sola unidad de enfriamiento (*single cooling unit*) de los derrames cineríticos. En la base se encuentra una zona sin piroconsolidación, en que los fragmentos de pómez están perfectamente conservados. Gradualmente, hacia la cima, se observa el desarrollo del aplastamiento de los fragmentos de pómez, hasta que se llega a una zona en que los fragmentos se oscurecen y toman el aspecto de obsidiana formando flamas (*fiamme*). Aproximadamente en la parte media del derrame se encuentra un vitrófido de color negro que forma cantiles conspicuos. A partir de este lugar, la tendencia de la roca a presentar piroconsolidación intensa disminuye gradualmente, hasta que alcanza nuevamente la cima, que no presenta piroconsolidación. Una de las características más notables de

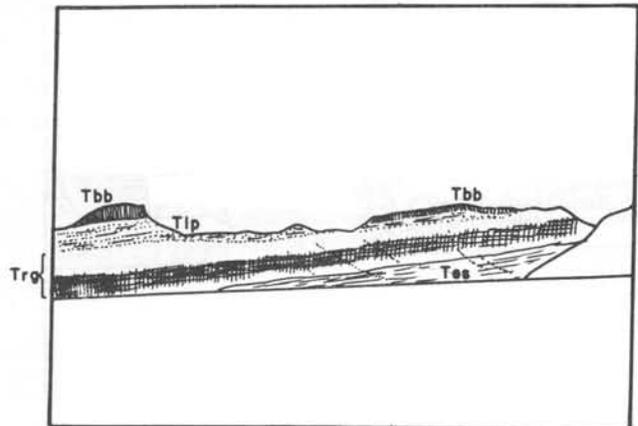


Figura 13.- Vista panorámica de la secuencia volcanosedimentaria en la pared norte de la bahía El Gallo (Figura 1B; localidad 15). El rasgo más notable es el marcado zoneamiento en la ignimbrita El Gallo (Trg) debido a piroconsolidación y compactación. Nótese la ausencia de la ignimbrita riolítica La Ballena (Trb).

esta ignimbrita es su color rojo intenso y el desarrollo de diaclasas columnares burdas, inmediatamente arriba del vitrófido negro, haciendo la unidad fácilmente identificable aún a la distancia.

El derrame cinerítico superior presenta un poco de desvitrificación, especialmente en la zona densamente piroconsolidada (vitrófido). Tanto en la cima como en la base se observan fragmentos líticos accidentales de composición basáltica. La mineralogía es idéntica a la del derrame inferior, sólo que la abundancia relativa de la que se componen los cristales consiste en cuarzo > sanidino > plagioclasa > biotita.

*Ignimbrita riódacítica La Ballena (Trb).*- Esta ignimbrita se encuentra bien expuesta particularmente en el islote de La Ballena (Figuras 1B y 8; localidad 17), en la porción centro-occidental del área. Sus afloramientos se encuentran restringidos a la Isla La Partida y a la parte septentrional de la Isla Espíritu Santo (Figura 2). Le subyace discordantemente la ignimbrita riolítica El Gallo y le sobreyacen, también discordantemente, el conglomerado volcánico La Partida (Figura 7) o el basalto olivínico Punta Tintorera (Figura 8).

En el campo, la característica más notable de esta ignimbrita es que presenta un vitrófido delgado (3-5 m) de color negro, que hacia su parte superior cambia a un color café rojizo oscuro. Este vitrófido muestra en varios lugares pequeños pliegues que se atribuyen a su compactación diferencial, debido a las irregularidades del terreno sobre el que se depositó el derrame cinerítico (Figura 8).

Una muestra del vitrófido recolectado en la localidad 17 (Figura 1B) presenta las características siguientes: textura merocrystalina, pobre en microfenocristales (~ 3% de la roca por volumen), con una matriz claramente piroclástica compuesta principalmente por esquirlas de vidrio parcialmente deformadas y en menor proporción por fragmentos de pómez del tamaño de lapilli. Su mineralogía es plagioclasa > sanidino > cuarzo > opacos. También se identificaron pequeños fragmentos líticos de rocas basálticas y de una ignimbrita félsica. No se observaron evidencias de desvitrificación.

*Conglomerado volcánico La Partida (Tlp).*- Con este nombre se ha cartografiado a una serie de afloramientos de conglomerados claramente posteriores a las ignimbritas El Gallo y La Ballena y que en algunos lugares subyacen al basalto olivínico Punta Tintorera (Tbp). No existe la certeza de que todos estos depósitos hayan sido formados al mismo tiempo, ya que tienden a rellenar canales (Figura 7) y en el mapa (Figura 2) presentan patrones de afloramiento en forma de listones.

Litológicamente, esta unidad es muy semejante al conglomerado volcánico Espíritu Santo: polilitológica, aunque predominantemente basáltica, con algunos fragmentos de ignimbritas félsicas. Se distingue del conglomerado volcánico Espíritu Santo sólo por su posición estratigráfica.

*Basalto olivínico Punta Tintorera (Tbp).*- Las ro-

cas volcánicas más jóvenes que afloran en las islas son varios derrames de basalto que casi siempre ocupan paleocanales en el conglomerado volcánico La Partida o en la ignimbrita riódacítica La Ballena (Figuras 2 y 8).

Estas rocas son fácilmente identificables en el campo por su posición estratigráfica, su color gris medio a gris oscuro y su patrón de fracturamiento en los afloramientos, que en la base tiende a ser subhorizontal y hacia la parte superior se transforma burdamente en columnar. En algunos lugares (e.g. Figura 1B; localidad 16) la cima es vesicular y fuertemente oxidada.

Petrográficamente, las muestras colectadas en las localidades 16 y 17 (Figura 1B) son muy similares; son rocas microporfídicas con un 20-25% de microfenocristales. La matriz es afánítica, intergranular y está compuesta por microlitos de plagioclasa, piroxeno y opacos. El conjunto de minerales que forman microfenocristales está compuesto por labradorita (An ~ 50) > augita > olivino (2V ~ 90°) parcial a totalmente alterado a iddingsita. Los microfenocristales de plagioclasa presentan numerosas inclusiones de vidrio.

En la localidad 18 (Figura 1B) aflora un derrame de basalto que presenta algunos xenolitos de rocas plutónicas de composición granítica, posiblemente derivadas del basamento. A diferencia de las otras muestras estudiadas, este basalto sólo contiene de 5 a 10% de microfenocristales y la abundancia relativa de las fases es: clinopiroxeno > olivino > plagioclasa. Algunos de los cristales de clinopiroxeno muestran extinción de reloj de arena (*hourglass extinction*) y colores de interferencia anómalos, lo que hace suponer que se trate de augita titanífera. También se presenta como microfenocristales una fase con muy baja birrefringencia, crucero cúbico y que es pseudo-biaxial, la cual se cree que sea analcita. A diferencia de las otras muestras, el olivino está notablemente bien conservado y sólo presenta ligera alteración a iddingsita.

El nombre de esta unidad se tomó de la localidad 24 (Figura 1B).

#### DISCUSION

Las islas Espíritu Santo y La Partida, junto con Punta Coyotes, constituyen los afloramientos más meridionales de un extenso campo volcánico del Mioceno-Holoceno. Este campo volcánico, también conocido como Provincia Volcánica Californiana (Demant y Robin, 1975) se extiende como una cadena de afloramientos más o menos continuos desde la latitud 32° N hasta los alrededores de La Paz (24° N). Las sierras de La Giganta y Santa Lucía constituyen el cuerpo principal del campo volcánico en Baja California Sur. De acuerdo con Sawlan y Smith (1984), estas sierras están formadas por una serie de conos compuestos de edad miocénica (24-12 Ma), constituidos principalmente por andesitas calcoalcalinas con contenido medio de potasio. Sobreya-

cen a las andesitas rocas alcalinas (12 Ma-Holoceno) y lavas toleíticas (12-6 Ma). Existe una marcada diferencia entre las secuencias volcánicas de las islas y de Punta Coyotes, y aquéllas de las sierras situadas al norte. En el área de la bahía de La Paz, las ignimbritas félsicas son comunes y en las islas son más abundantes que las rocas máficas a intermedias. Es desconocido el origen de este cambio y no puede ser discutido con base en los datos de que ahora se dispone. Una cuestión fundamental es tratar de establecer si las rocas provienen de un mismo aparato o si se originaron en distintos volcanes. Para ello es necesario emprender estudios geoquímicos en las lavas y establecer la dirección de transporte de las unidades, por medio de mapas de isopacas de las ignimbritas y mediante estudios de estructuras sedimentarias en las secuencias volcanoclásticas.

#### ESTRUCTURA

El patrón estructural en la mayor parte de las islas es relativamente simple, pues litológicamente está dominado por las ignimbritas El Gallo (Trg) y La Ballena (Trb), las cuales se cree que tengan una forma aproximadamente tabular. Estos cuerpos estratiformes tienen una posición estructural regional de N 20 E, 10 NW, lo que hace que en perfil las islas tengan la forma de cuevas. Las pendientes suaves de sus lados occidentales terminan abruptamente formando acantilados con pendientes fuertes hacia el Golfo de California. El origen de estos acantilados está claramente expuesto (Figura 10), pues tanto en el campo como en las fotografías aéreas se puede observar un sistema conjugado de fallas normales, con rumbo promedio N 30 W y con fuertes inclinaciones (75-85°) al NE y en menor proporción al SW (Figura 2). Conforme aumenta la distancia del acantilado hacia el suroeste, el fallamiento disminuye en intensidad, de tal manera que en los flancos occidentales de las islas la secuencia está prácticamente sin perturbar y las pocas fallas presentes tienen un desplazamiento muy pequeño. El patrón de drenaje en ambas islas es notablemente recto y los arroyos son subparalelos, con dirección aproximada N 80° E, lo que hace pensar que existe un fuerte control estructural sobre él. Altamirano (*s. f.*) interpretó a varios de estos arroyos como fallas normales con el bloque hundido en el NW. Después de estudiar cuidadosamente las fotografías aéreas y poniendo atención especial en los acantilados correspondientes al vitrófido, se considera como poco probable que los arroyos estén controlados por fallas de movimiento vertical significativo. Una excepción notable se presenta en la parte meridional de la Isla La Partida (Figura 1B; localidad 19) en donde sí es evidente el fallamiento (Figuras 2 y 5).

Los afloramientos del conglomerado volcanoclástico La Partida y del basalto olivínico Punta Tintorera sugieren que el patrón de drenaje contemporáneo al volcanismo era parecido al actual y que muchos de los

cañones que se rellenaron por el conglomerado volcanoclástico La Partida volvieron a erosionarse formando nuevos arroyos por donde fluyó el basalto. Por tanto, parece que el patrón de drenaje actual sea de tipo resecente.

Un aspecto que fue imposible esclarecer es la naturaleza del contacto entre las rocas pertenecientes al basamento (Kqp) y el complejo volcánico Punta Luona (Tcl), en la región comprendida entre las localidades 6 y 7 (Figura 1B). Dado que el complejo es caótico y que hay evidencia de que fue tectónicamente perturbado (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa) antes del depósito del resto de la secuencia volcanosedimentaria, es difícil establecer si la complejidad estructural se debe únicamente al fallamiento anterior al depósito del conglomerado volcanoclástico Espíritu Santo o si han habido movimientos posteriores. Otro factor determinante es que el contacto entre el augengneis granítico Pailebot y el complejo Punta Luona no aflora, pues está cubierto por depósitos de talud derivados de las rocas terciarias por la erosión.

Una interpretación alternativa a la hipótesis del contacto por falla es que las rocas graníticas de El Pailebot pudieron constituir un alto topográfico al tiempo del volcanismo y que algunas de las unidades se acuñen contra él.

#### CONCLUSIONES

1 - Las rocas que afloran en Pailebot pertenecientes al complejo cristalino son de composición granítica (*sensu stricto*) y difieren de otros granitos estudiados en áreas contiguas como los de Punta El Pulguero (Figura 1B; localidad 22) en que están fuertemente deformados, presentan dos foliaciones claramente visibles, S<sub>2</sub> siendo una foliación paralela al plano axial de pequeños pliegues en S<sub>1</sub> y contienen diques máficos fuertemente deformados.

2 - Aun cuando las rocas del augengneis granítico Pailebot son texturalmente augengneises, no necesariamente deben ser producto de metamorfismo dinámico. Higgins (1971) señala que muchos augens pueden ser de origen porfidoblástico; por tanto, no existe la certeza de que en el basamento de Espíritu Santo se encuentre la prolongación de las fallas de edad cretácica identificadas en otras localidades de la península.

3 - Aunque la secuencia volcanoclástica en las islas no sea radicalmente distinta a la de Punta Coyotes, presenta rasgos que impiden una correlación directa. Posiblemente las rocas del complejo volcánico Punta Luona sean equivalentes a las del complejo volcánico basal de Punta Coyotes, sólo que más intensamente alteradas.

4 - El conglomerado volcanoclástico Espíritu Santo (Tes) puede correlacionarse o no con las "brechas y conglomerados volcánicos de Balandra" (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa), pues las rocas más cercanas

pertenecientes a esta unidad, a través del Canal de San Lázaro, tienden a ser brechas y no presentan los rasgos epiclásticos del conglomerado Espíritu Santo.

5 - Si el conglomerado volcánicoclástico Espíritu Santo fuera contemporáneo a las "brechas y conglomerados volcánicos de Balandra", presentaría la característica que se espera en el modelo propuesto para Punta Coyotes (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa) y que es un aumento en el carácter epiclástico del depósito. Un soporte mayor a la hipótesis de que hubo un centro volcánico en el cerro de El Rosario (Figura 1B; localidad 2) se puede lograr haciendo un estudio detallado de la dirección de transporte de los sedimentos, utilizando las estructuras sedimentarias tan comunes en el conglomerado Espíritu Santo.

6 - Las ignimbritas El Gallo y La Ballena presentan características que les dan un aspecto diferente a las tobas rosa del Caimancito y de La Calavera (Aranda-Gómez y Pérez-Venzor, en prensa), principalmente el patrón de piroconsolidación. Esto no excluye la posibilidad de que sean correlacionables, ya que los derrames cineríticos no sólo muestran variaciones y zoneamiento verticales, sino que también laterales.

7 - La geometría de los afloramientos del conglomerado volcánicoclástico La Partida y del basalto olivínico Punta Tintorera sugiere que ambos rellenaron canales fluviales y que sus fuentes estaban localizadas al oriente de las islas.

8 - El sistema de fallas de Espíritu Santo es de tipo normal y presenta los bloques hundidos del lado del Golfo de California. La presencia de la pequeña fosa tectónica (Figura 2) en el extremo nororiental de la Isla La Partida sugiere que el sistema es conjugado. Utilizando la plantilla de Wulff (Figura 14) se realizó un análisis que sugiere que la dirección de extensión máxima ( $\sigma_3$ ) es N<sub>56</sub> E y que  $\sigma_1$  es casi vertical, por lo que se cree que el componente dominante sea paralelo a la inclinación de fallas (Figura 7).

El resultado obtenido con las fallas de Espíritu Santo concuerda con el obtenido por Angelier y colaboradores (1981) en San Juan de La Costa.

9 - El basalto olivínico Punta Tintorera presenta características (presencia de titanaugita y analcita) que hacen pensar que tienen afinidad alcalina. Hausback (1982) ha reportado un período de volcanismo alcalino (12-5 Ma), posiblemente asociado a la tectónica extensional durante la formación del "protogolfo" de California.

#### AGRADECIMIENTOS

El trabajo de campo de esta investigación fue financiado por la Universidad Autónoma de Baja California Sur. J. Guadalupe Rosas nos facilitó las fotografías aéreas de las islas y Ramón Pimentel, J. Cruz Sierra, Juan Pérez y Ezequiel Lara nos acompañaron en diver-

sas ocasiones durante los trabajos de verificación en el campo. El espesor de la ignimbrita riódacítica La Ballena fue medido por J. Cruz Sierra y Moisés Martínez. El manuscrito, las ilustraciones y el trabajo petrográfico fueron elaborados por el primer autor en la Estación Regional del Centro del Instituto de Geología de la UNAM.

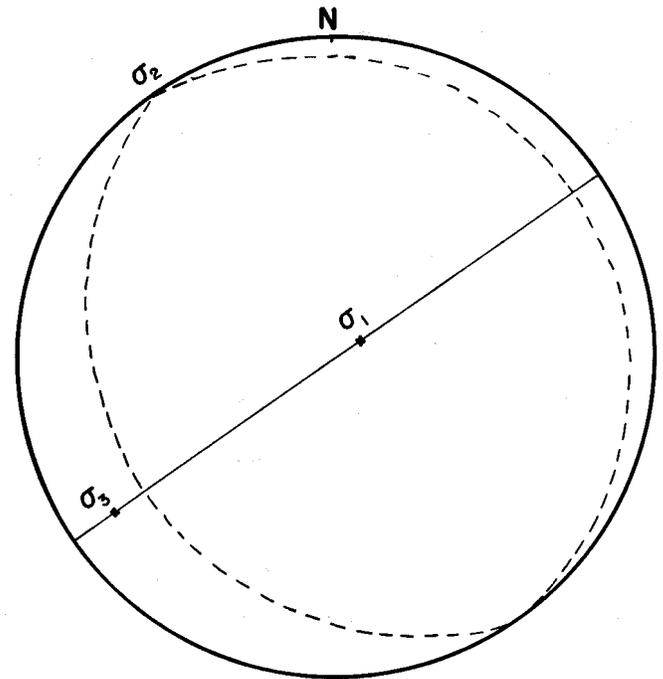


Figura 14.- Análisis estructural utilizando las fallas que forman una pequeña fosa tectónica en el extremo nororiental de la Isla La Partida (Figura 1B; localidad 21). Las fallas fueron graficadas en el hemisferio inferior utilizando la proyección de Wulff. La dirección de  $\sigma_3$  es N<sub>56</sub> E y  $\sigma_1$  es casi vertical. Es posible que el movimiento de las fallas sea casi íntegramente de tipo normal.

Agradecemos en especial a los lancheros de la UABCS por su paciencia y pericia al conducirnos a diversas partes de las islas. El Ing. Guillermo Labarthe-H. y el Dr. Fernando Ortega-Gutiérrez leyeron críticamente el manuscrito y sugirieron modificaciones que mejoraron notablemente su calidad. El Dr. Ortega nos acompañó a los augengneises de Pailebot y discutió con nosotros la posible relación entre estas rocas y las que constituyen el complejo cristalino de La Paz.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Altamirano, F. J., sin fecha, Plano geológico de la región meridional del Territorio de Baja California Sur, Hoja La Paz (esc. 1: 100,000): México, D. F., Consejo de Recursos Nat. no Renovables (inédito).

- Angelier, J., Colleta, 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., en preparación, Estudio geológico del basamento en la región de Todos Santos, B.C.S.
- en prensa, Estudio geológico de Punta Coyotes, Baja California Sur, México: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 7, núm. 1.
- Demant, A., y Robin, Claude, 1975, Las fases del vulcanismo terciario en México; una síntesis en relación con la evolución geodinámica desde el Cretácico: Univ. Nal. Autón. México, Inst. Geología, Revista, v. 1, p. 70-82.
- Flores, E. Z., Pimentel, Ramón, Pérez-Venzor, J. A., y García, M. H., en preparación, Estudio de la recarga del acuífero del Valle de La Paz.
- Gillen, C., 1982, Metamorphic geology; an introduction to tectonic and metamorphic processes: Londres, Allen & Unwin, p. 60.
- Hausback, B. P., 1982, Timing and nature of Tertiary tectonic and volcano-stratigraphic events in southern Baja California, Mexico: *Geol. Soc. America, Abstr. with Programs*, v. 14, p. 171 (resumen).
- 1984, Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, Mexico: *in* Frizzell, V., ed., *Geology of the Baja California Peninsula*, Pacific Section S.E.P.M., v. 39, p. 219-236.
- Higgins, M. W., 1971, Cataclastic rocks: U. S. Geol. Survey, Prof. Paper 687, 97 p.
- Lozano-Romen, Fernando, 1975, Evaluación petrolífera de la península de Baja California, México: *Bol. Asoc. Mex. Geólogos Petroleros*, v. 9, p. 139-269.
- North American Commission on Stratigraphic Nomenclature, 1983, North American Stratigraphic Code: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v. 67, p. 841-875.
- 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).
- Sawlan, M. G., y Smith, J. G., 1984, Petrologic characteristics, age and tectonic setting of Neogene volcanic rocks in northern Baja California Sur, Mexico: *in* Frizzell, V., ed., *Geology of the Baja California Peninsula*, Pacific Section S.E.P.M., v. 39, p. 237-251.