

INTERPRETACION GEODINAMICA DE LOS COMPLEJOS OFIOLITICOS DE COSTA RICA

Martin Meschede, Wolfgang Frisch & Marc Sick

Institut für Geologie, Universität Tübingen, Sigwartstr. 10, D-7400 Tübingen, Alemania-Federal

ABSTRACT

The ophiolitic complexes along the Pacific coast of northwestern Costa Rica can be divided into three units, the Santa Elena, Matapalo, and Esperanza units. The ultramafic rocks of the Santa Elena peninsula are overthrust as a nappe onto the Matapalo unit. The Matapalo unit contains mid-ocean ridge basalts and radiolarites. The Esperanza unit is mainly made up of volcanic arc basalts and radiolarites, but also contains mid-ocean ridge basalts. The ophiolite complexes along the Pacific coast in southern Costa Rica and Panama correspond in their lithology with the Esperanza unit. The Matapalo unit contains alkalic within plate basalts. These are considered to be related to the "sill event" in the Caribbean in the Santonian to-Campanian. The thickening and stiffening of the Caribbean crust during this event may be responsible for the formation of a subduction zone along the present Middle American landbridge.

RESUMEN

Los complejos ofiolíticos de la costa pacífica del noroeste de Costa Rica están subdivididos en tres unidades, las unidades de Santa Elena, Matapalo y Esperanza. Las rocas ultramáficas de la península de Santa Elena están sobrecorridas como un nappe sobre la unidad Matapalo. La unidad Matapalo contiene basaltos originados en una dorsal medio oceánica y radiolaritas. La unidad Esperanza consiste principalmente de basaltos originados en un arco volcánico y radiolaritas, no obstante también contiene basaltos originados en una dorsal medio oceánica. La litología de los complejos ofiolíticos en la costa pacífica en el sur de Costa Rica y Panamá corresponde en su litología con la unidad Esperanza. La unidad Matapalo contiene basaltos alcalinos originados en regiones intraplacas. Se considera estos basaltos alcalinos relacionados al "sill event" del Caribe ocurrido entre el Santoniano y el Campaniano. El engrosamiento y reforzamiento de la corteza Caribe por causa de este evento probablemente es el responsable de la formación de una zona de subducción en la línea del istmo centroamericano actual.

INTRODUCCION

En la costa pacífica de Costa Rica, Panamá y Colombia aflora una serie de complejos ofiolíticos conteniendo rocas ultramáficas, anfibolitas, gabros, doleritas, basaltos y radiolaritas (Fig. 1). Estas rocas se formaron entre el Jurásico y el Paleoceno. Una secuencia continua de rocas ofiolíticas no existe sino numerosas unidades tectónicas desmembradas que consisten principalmente de rocas basálticas.

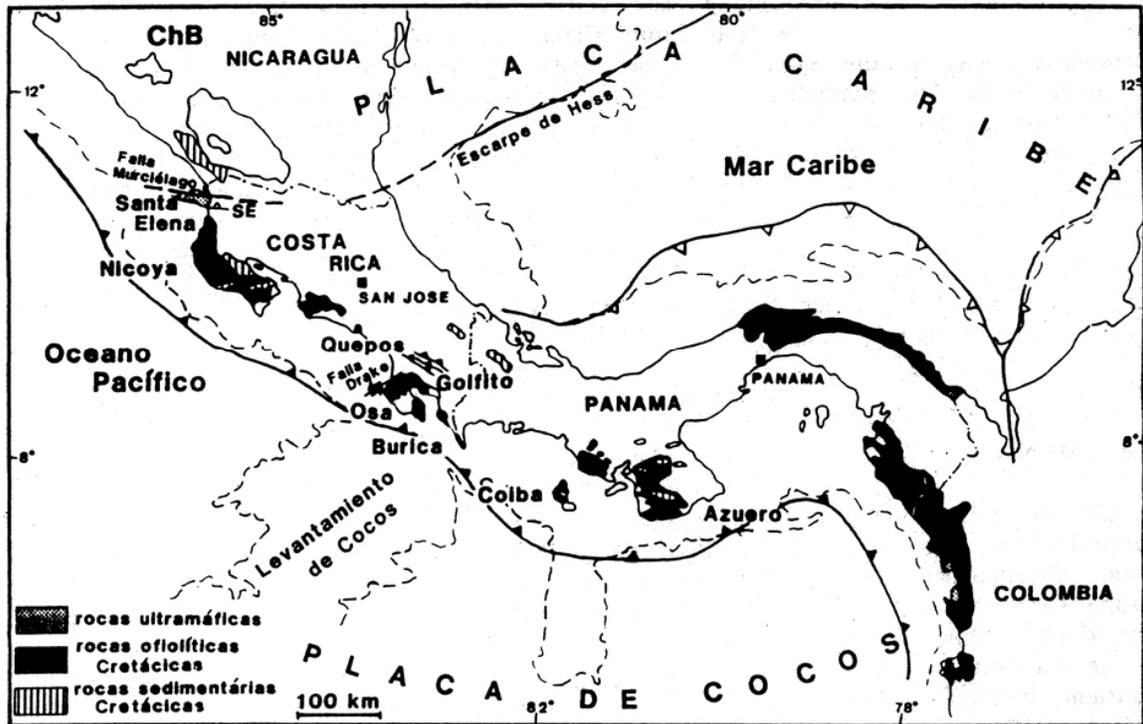


FIGURA 1: Localización de los complejos ofiolíticos de Costa Rica y Panamá. ChB = Bloque Chortis; SE = Nappe de Santa Elena

Gursky et al. (1984) subdividen las rocas ofiolíticas de la costa pacífica de Costa Rica en dos complejos litoestratigráficos, el complejo de Nicoya Inferior y el Superior. Las rocas del complejo de Nicoya Superior son más jóvenes y se formaron por encima del complejo de Nicoya Inferior. El complejo de Nicoya Inferior abarca las rocas ultramáficas de la península de Santa Elena y la mayoría de la parte norte de la península de Nicoya, que contiene basaltos y radiolaritas. Las rocas basálticas

de esta unidad principalmente estan caracterizadas por basaltos originados en una dorsal medio oceánica (MORB; Wildberg 1984). El complejo de Nicoya Superior aflora principalmente en el sur de la península de Nicoya y consiste de basaltos con afinidades al quimismo de los arcos volcánicos (VAB) y radiolaritas.

Contrario a Gursky et al. (1984), Bourgois et al. (1984) distinguen tres unidades tectónicas con rocas ofiolíticas en la costa pacífica de noroeste de Costa Rica. La unidad mas baja es la unidad Esperanza, que corresponde al complejo de Nicoya Superior. La unidad Matapalo, que probablemente sobreyace tectónicamente a la unidad Esperanza, corresponde a la parte basáltica del complejo de Nicoya Inferior. Este contacto tectónico entre las unidades Esperanza y Matapalo fue establecido por Kuijpers (1980). El nappe de Santa Elena es la unidad superior. La dirección del sobrecorrimiento de este nappe es del norte hacia el sur y fue obtenido de polaridades de pliegues presentes en las radiolaritas que se encuentran bajo de esta unidad (Bourgois et al. 1984). Reflectores sísmicos con buzamiento al noreste en frente de la costa pacífica de Costa Rica indican sobrecorrimientos también en la cuña de acreción (Azéma y Tournon 1979, Bourgois et al. 1984).

Numerosos basaltos de Quepos, Osa, Golfito y Burica (Fig. 1) tienen afinidades de arcos volcánicos. Se considera estos complejos como parte de la unidad Esperanza.

LOS COMPLEJOS OFIOLITICOS

EL NAPPE DE SANTA ELENA

El nappe de Santa Elena consiste principalmente de harzburgitas serpentinizadas y dunitas, conteniendo mineralizaciones de cromita en forma de bolsas ("podiform mineralization"; Jager 1977, Kuijpers y Jager 1979) y se considera que representan la parte superior del manto litosférico. Kuijpers y Jager (1979) mencionan también la presencia de lherzolita serpentizada. Estos autores interpretan las dunitas asocia-

das y los gabros estratificados como la parte basal de una dorsal oceánica. En la zona basal del sobrecorrimiento ocurren anfibolitas foliadas y megabrechas tectónicas. Las anfibolitas, que muestran una orientación de cristales de hornblenda, indican que el emplazamiento del nappe de Santa Elena ocurrió bajo un régimen de temperaturas elevadas. Por medio de análisis geoquímicos se puede discriminar las anfibolitas claramente como basaltos del tipo MORB (Fig. 3 y 4).

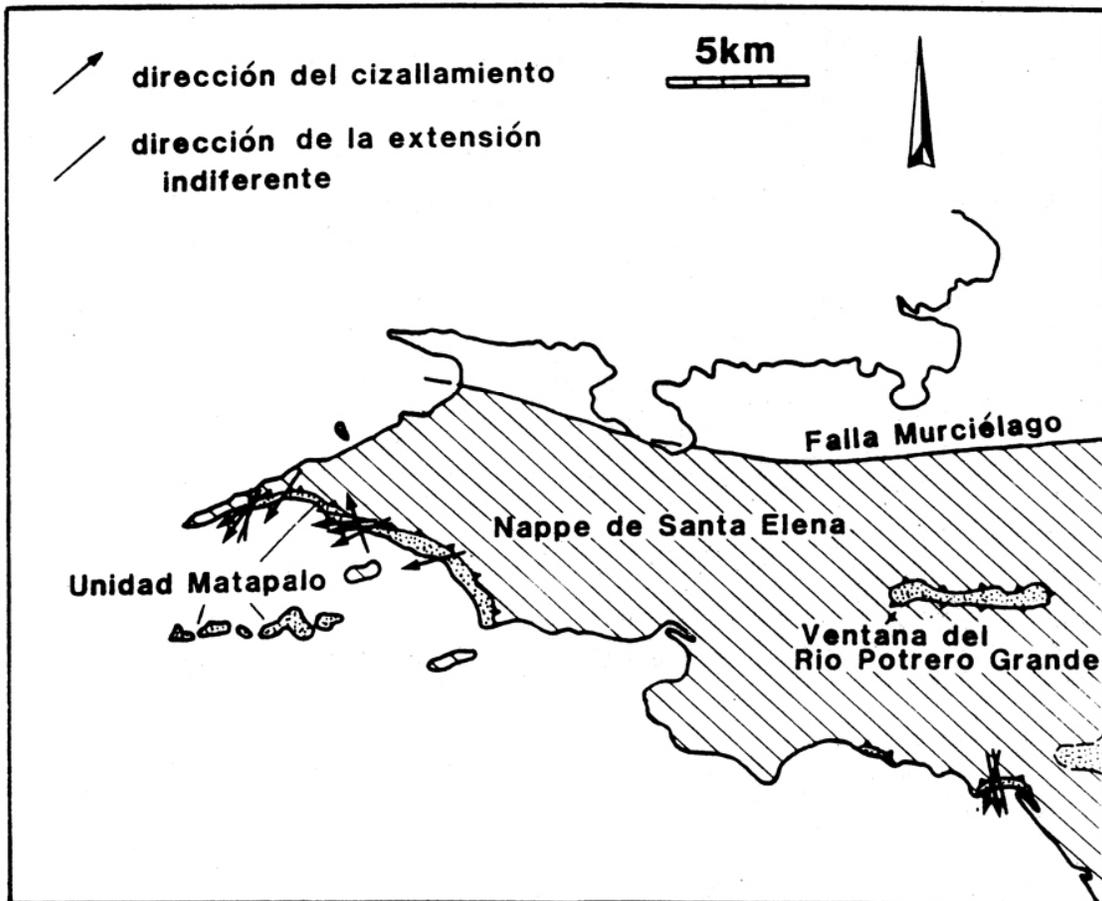


FIGURA 2: Mapa de la península de Santa Elena en el noreste de Costa Rica demostrando las lineaciones de la extensión y direcciones del transporte tectónico en el plano del sobrecorrimiento del nappe de Santa Elena. Las flechas indican la dirección del transporte de la unidad superior.

Las fábricas S-C y las zonas del cizallamiento presentes dentro de las serpentinitas del sobrecorrimiento basal indican un movimiento del nappe al suroeste (Fig. 2).

Las fibras cristalinas y la orientación preferida de la hornblenda dentro de las anfibolitas muestran extensión en la misma dirección. Estos resultados están de acuerdo con pliegues asimétricos presente en las radiolaritas bajo del nappe de Santa Elena. Estos pliegues tienen una polaridad al oestesuroeste.

No se conoce la edad de las rocas del nappe de Santa Elena (Baumgartner 1987). Schmidt-Effing (1979) concluyó Titoniano como edad mínima en base a dataciones de radiolaritas, considerando las radiolaritas de la unidad Matapalo y las rocas del nappe de Santa Elena formando parte de la misma unidad. Las rocas carbonáticas con rudistas, que cubren las rocas ultramáficas del nappe de Santa Elena en la región del Rio Potrero Grande, tienen una edad de la parte más superior del Campaniano (Seyfried y Sprechmann 1986).

LAS UNIDADES DE MATAPALO Y ESPERANZA

Existen diferencias entre las unidades de Matapalo y Esperanza en la edad de los sedimentos, en la geoquímica de los basaltos y en los datos paleomagnéticos.

Las radiolaritas de la unidad Matapalo son más viejos que las de la unidad Esperanza (Kuijpers 1980, Schmidt-Effing 1979, 1980, Baumgartner et al. 1984, Baumgartner 1987). Su extensión estratigráfica es del Jurásico Medio hasta el Cretácico Inferior y están frecuentemente asociadas con nódulos manganesíferos (Kuijpers y Denyer 1979). Estos nódulos manganesíferos representan un ambiente oceánico. Una segunda generación de radiolaritas tiene un origen turbidítico (Gursky y Schmidt-Effing 1983). Estas turbiditas contienen microbrechas, incluyendo componentes de radiolaritas ya litificadas antes de la redepositación. Esto requiere una región de erosión como región fuente con radiolaritas presentes en la parte superior del talud. Las radiolaritas de la unidad Esperanza tienen edades principalmente entre el Santoniano y el Campaniano. Están sobreyacidos por calizas pelágicas y turbiditas.

La secuencia magmática de la unidad Matapalo consiste predominantemente de basaltos, no obstante incluye también gabros, plagiogranitos y diques doleríticos, que probablemente formaban parte de un complejo de diques paralelos verticales ("sheeted dikes"). Entre 50 muestras de la unidad Matapalo 43 tienen las características de basaltos del tipo MORB normal (MORB tipo N, Fig. 3 y 4) coincidiendo con los resultados de Wildberg (1984). Estas muestras representan corteza oceánica normal. Las demás muestras se discriminan como basaltos alcalinos originados en regiones intraplacas (WPA; Fig. 4). Algunos de estos contienen numerosas vesículas, indicando que la formación de estas rocas se originó bajo profundidades de agua de menos de 1000 m (Moore 1975). El yacimiento local de brechas de lavas almohadilladas y rotadas ("pillow block breccia") sugiere una extrusión en una pendiente escarpada de más de 15° (Furnes y Fridleifsson 1979). Pos eso se interpreta los basaltos alcalinos como un evento intraplaca más joven con edificios volcánicos construidos dentro de la corteza oceánica normal.

La mayoría de los basaltos de la unidad Esperanza tienen las características de basaltos del tipo originado en un arco volcánico primitivo (VAB; Fig. 3), no obstante una parte de estos corresponde a los basaltos del tipo MORB de la unidad Matapalo (Wildberg 1984). Se supone que la unidad Esperanza representó un arco insular intraoceánico, que se formó durante el Cretácico Superior.

La dirección principal de la magnetización remanente característica de la unidad Matapalo es distinta de la de la unidad Esperanza como ha sido obtenido a partir de los primeros resultados de una investigación paleomagnética (Fig. 5). Ambas unidades tienen inclinaciones paleomagnéticas suaves al sur y al norte e indican una formación en latitudes cerca del ecuador. La diferencia en la declinación paleomagnética entre las unidades de Matapalo y Esperanza puede ser el resultado de una rotación antes de la formación del arco insular o durante el emplazamiento de las unidades. La magnetización de las calizas sobreyacentes (formación "Barra Honda", Campaniano Superior, Seyfried y Sprechmann 1985) requiere una formación en una posición similar a la presente, sin rotación después de la depositación.

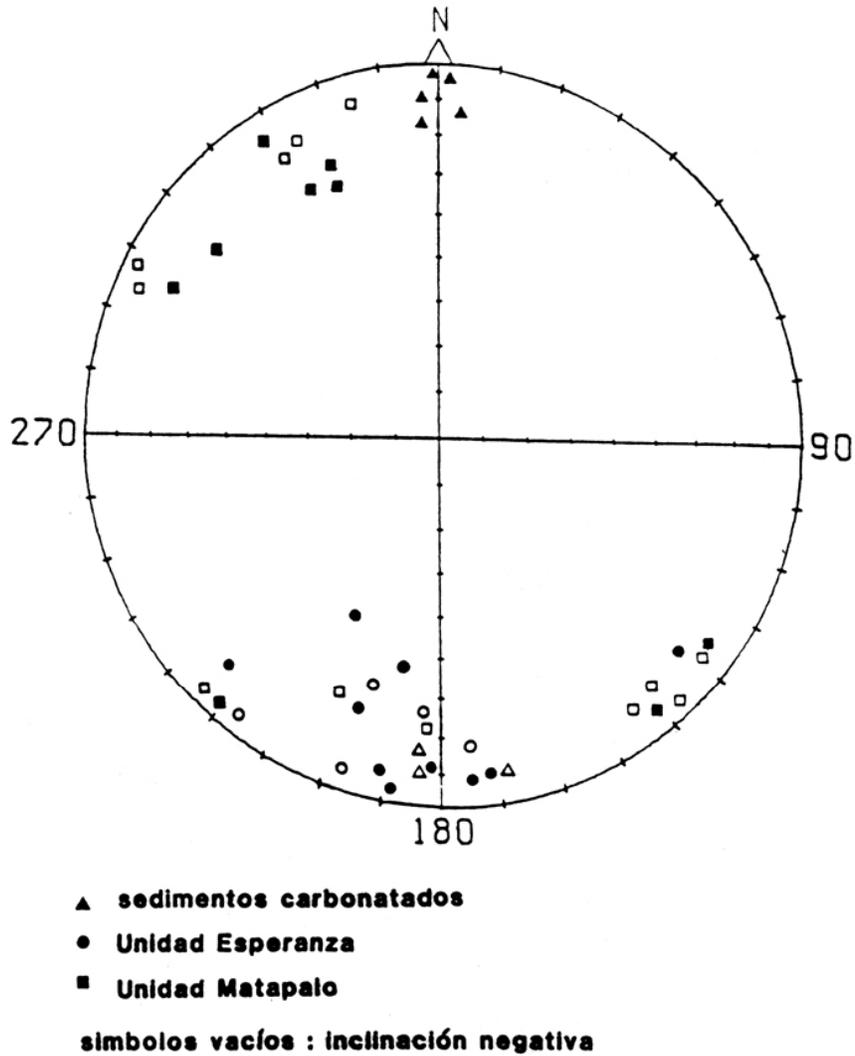


FIGURA 5: Magnetizaciones remanentes características de las unidades Matapalo y Esperanza y calizas sobreyacentes de la formación Barra Honda.

EL COMPLEJO OFIOLITICO DE QUEPOS

Las rocas ofiolíticas de Quepos comprenden basaltos macizos, lavas almohadilladas y brechas caóticas. La brecha es de origen sedimentario y contiene como componentes dolerita, gabro acumulado, radiolarita y caliza (Baumgartner et al. 1984).

Los basaltos macizos de Quepos tienen un carácter geoquímico del tipo VAB comparable con los basaltos de la unidad Esperanza (Fig. 3). Contrariamente, los componentes basálticos de la brecha muestran las características geoquímicas de los basaltos alcalinos del tipo WPA (Fig. 3 y 4). Numerosas vesículas dentro de algunos de estos basaltos alcalinos indican una formación en agua relativamente poco profunda (Moore 1975). Los basaltos alcalinos son comparables a los encontrados en la unidad Matapalo. Se puede imaginar que el complejo basáltico de Quepos forma parte de la unidad Esperanza y que los componentes de la brecha son derivados de la unidad Matapalo. Los sedimentos sobreyacentes empiezan con una megabrecha sin rocas volcánicas que ha sido datada entre el Paleoceno y el Eoceno (Baumgartner et al. 1984).

LOS COMPLEJOS OFIOLITICOS DE OSA, GOLFITO Y BURICA

Los basaltos que afloran en Osa, Golfito y Burica muestran también las características geoquímicas del tipo VAB, comparables a la unidad Esperanza (Wildberg 1984). La edad de los sedimentos intercalados entre las lavas almohadilladas presentes en la parte alta de una sección de Osa, fue determinada como Maastrichtiano Superior (Lew 1984). En la parte norte de la península de Osa, calizas del Paleoceno sobreyacen a los basaltos (Baumgartner 1987).

En la esquina noroeste de Osa, aflora una zona de cizallamiento vertical con un rumbo estenoreste - oestesuroeste, que ha sido denominada la falla Drake (Fig. 1), y que se encuentra cortando una secuencia de basaltos y sedimentos pelágicos. La zona de cizallamiento tiene el carácter interno de una *mélange* presentando la estructura de los bloques entre la matriz ("block-in-matrix structure"), donde la matriz consiste del mismo material que los bloques y ha sido formado por el evento de cizallamiento. La matriz, que contiene un conjunto de superficies de cizalle anastomosadas, resultó de un flujo cataclástico. Las fábricas S-C indican un desplazamiento sinistral.

INTERPRETACION DE LA EVOLUCION GEOTECTONICA

Los remanentes de la litósfera oceánica expuesta en los complejos ofiolíticos de Costa Rica y el oeste de Panamá se formaron durante el Jurásico y Cretácico Inferior en latitudes casi ecuatoriales. Probablemente fueron parte de la placa de Farallón, que se supone fue formada durante el Mesozoico en el centro de dispersión del Pacífico, el precursor de la dorsal del Pacífico Este actual ("East Pacific Rise"; Herron 1972). Durante este tiempo se sugiere que la placa de Farallón se subducía bajo las placas norteamericana y suramericana con dirección hacia el estenoreste (Burke en prensa; Fig. 6). Los fragmentos ofiolíticos de este evento están preservados en las Islas de las Antillas Mayores como testigos de esta subducción (Ando y Kozak 1987, Gealey 1980). Según estos autores estos fueron formados entre el Jurásico y el Cretácico Inferior.

Los basaltos del tipo MORB de los complejos ofiolíticos de Costa Rica y Panamá se interpretan como remanentes del piso oceánico de la placa de Farallón. Radiolaritas, preservadas en la unidad Matapalo, fueron depositadas en este piso oceánico cerca de una ladera. Esto se deduce de las microbrechas turbidíticas que contienen como componentes radiolaritas ya litificadas. La ladera pudo ser un escarpe submarino o un margen continental (Fig. 6).

Los basaltos alcalinos del tipo WPA, que se han encontrado entre los basaltos del tipo MORB de la unidad Matapalo y como componentes de una brecha de Quepos, se interpreta como relacionados al llamado "sill event" del Caribe. El reflector sísmico B" dentro de la corteza del Caribe actual (Ewing et al. 1960) ha sido interpretado como diques basálticos que intruyeron la corteza oceánica entre el Santoniano y el Campaniano (Burke et al. 1978). Según Donnelly et al. (1973) el material basáltico del "sill event" tiene las características geoquímicas de regiones intraplacas y representa una posición tectónica comparable a una altiplanicie oceánica, como es por ejemplo la altiplanicie de Ontong-Java en el Pacífico del oeste (Burke en prensa). No obstante, los basaltos alcalinos de la unidad Matapalo son, por lo menos en parte, extrusivos como ha sido deducido de las lavas almohadilladas y del gran

contenido de vesículas. Las vesículas sugieren una profundidad del agua moderada y por eso indican una corteza oceánica ya engrosada.

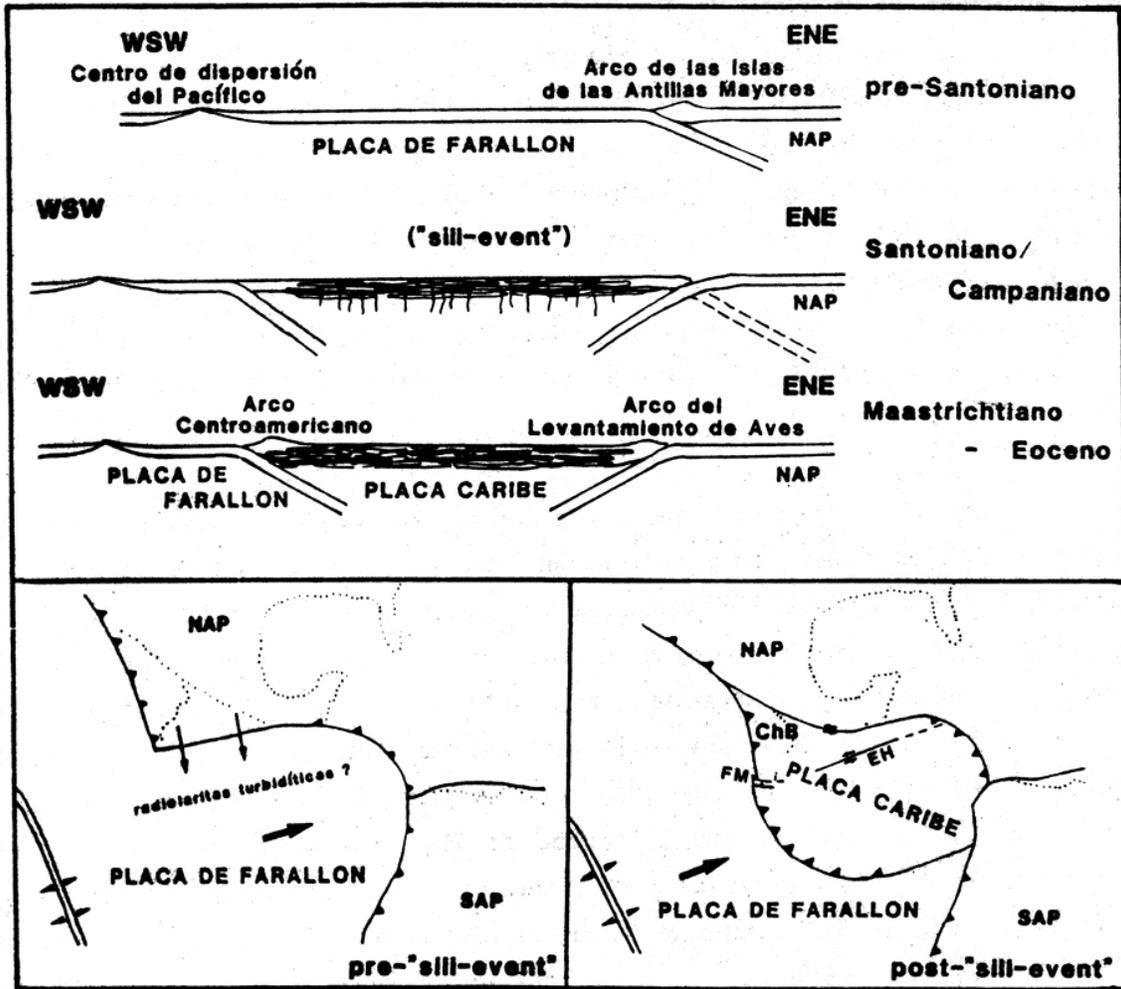


FIGURA 6: Esquema ilustrando la evolución propuesta de la Placa Caribe y su margen convergente oeste como una consecuencia del "sill event" en el Cretácico Superior. NAP = Placa Norteamericana; SAP: Placa Suramericana; ChB = Bloque Chortis; EH = escarpe de Hess; FM = Falla Murciélago

La parte este de la placa de Farallón fue engrosada desde 8 km a más de 15 km (Burke et al. 1978), por el "sill event". La subducción de la parte engrosada y

reforzada de la placa de Farallón llegó a ser imposible en la región del Arco de las Antillas Mayores (Malfait y Dinkelman 1972). Por eso, la parte oceánica de la placa norteamericana empieza a subducirse con una dirección al oeste bajo la corteza engrosada generando el Arco del Levantamiento de Aves (Fig. 6). En el oeste de la parte engrosada de la placa de Farallón, otra zona de subducción evolucionó cerca de la fosa mesoamericana actual. El resultado fue la separación de la placa Caribe de la placa de Farallón. En consecuencia un precursor del arco magmático mesoamericano actual evolucionó con un magmatismo del tipo VAB primitivo, el cual esta hoy representado en los complejos ofiolíticos de la unidad Esperanza y sus equivalentes (Quepos, Osa, Golfito, Burica). Durante el Maastrichtiano el volcanismo andesítico empezó, cambiando durante el Eoceno a un quimismo del tipo calco-alcalino. El istmo mesoamericano fue construido por este volcanismo que se incrementó progresivamente separando los océanos del Atlántico y del Pacífico desde el Mioceno (Seyfried 1986).

Un régimen de compresión en una parte de la margen convergente entre las placas de Farallón y del Caribe esta documentada por la formación de nappes en el noroeste de Costa Rica. La formación de los nappes debe haber sido anterior al fin del Campaniano, porque las rocas ultramáficas de Santa Elena estan cubiertas por las calizas de rudistas del Campaniano más Superior (Seyfried y Sprechmann 1986, Seyfried et al. 1987). Una gran falla de desplazamiento sinistral, el denominado escarpe de Hess (Case y Holcombe 1980) corta la placa Caribe. En su continuación al oeste, Lew (1984) considera que el escarpe de Hess con un rumbo ENE - WSW, termino en la falla Murcielago de Santa Elena con un rumbo del este al oeste (Fig. 1). El régimen convergente entre el bloque de Chortis al norte de la falla Murcielago y la zona de subducción mesoamericana se considera fue el responsable del origen de los sobrecorrimientos presentes en la región de Nicoya y Santa Elena (Fig. 7).

Otra falla sinistral que existe en la parte norte de la península de Osa, es la falla Drake. Esta falla se puede interpretar como la respuesta a la subducción del levantamiento de Cocos en el Terciario, relacionado a la placa de Cocos (el rema-

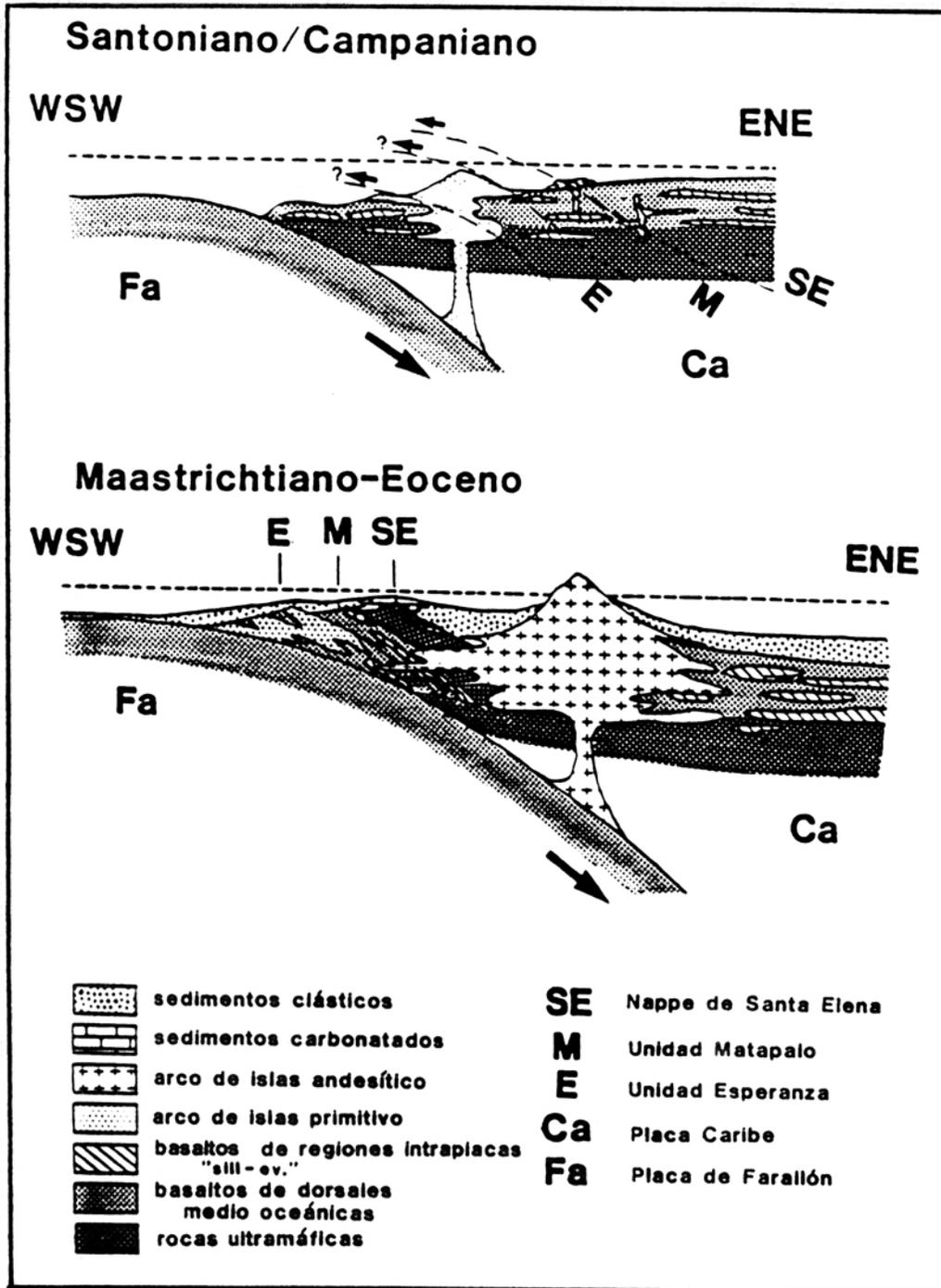


FIGURA. 7: Desarrollo estructural propuesto del nappe de Santa Elena de las unidades Matapalo y Esperanza en el noroeste de Costa Rica durante el Cretácico Superior

nente actual de la placa de Farallón), y actuando como un endentador en el borde de la placa Caribe (Fig. 1). El endentador empuja el bloque al sur de la falla Drake hacia el este. Hay evidencia de la formación de nappes en el Terciario, en el interior de la Fila de Costeña, cerca de la península de Osa (Obando 1986; Fig. 1), que probablemente se puede interpretar también es resultado de la indentación originada por el levantamiento de Cocos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al M.Sc. Walter Montero (Escuela Centroamericana de Geología, San José, Costa Rica) por la revisión y corrección del texto español. Igualmente agradecen al Servicio Alemán de Intercambio Académico (DAAD) y su representante Dr. Peter Sprechmann por la ayuda económica. Este trabajo se efectuó en un proyecto de la Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), a la que se le agradecen por el apoyo brindado. Los análisis químicos incluidos en el presente trabajo fueron realizados por el Laboratorio Geoquímico Central de la Universidad de Tübingen.

REFERENCIAS

- Ando, J. y Kozak, M. (1987): La serie ofiolítica de Holguín (Cuba) y su papel en el desarrollo estructural del Cretácico-Paleógeno. - Actas Fac. Ciencias Tierra, U.A.N.L. Linares, 2: 271 - 274. In: Barbarin C., J.M., Gursky, H.-J. y Meiburg, P.(Ed.): El Cretácico de México y América Central. Linares, México.
- Azéma, J. y Tournon, J. (1979): The Guatemalan margin, the Nicoya complex, and the origin of the Caribbean plate.: 739 - 745. In: Aubouin, J., von Huene, R., et al.(Ed.): Init. Rep. Deep Sea Drilling Proj. Washington, D.C. (U.S. Government Printing Office).
- Baumgartner, P.O., Mora, C.R., Butterlin, J., Sigal, J., Glacon, G., Azéma, J. y Bourgois, J. (1984): Sedimentación y paleogeografía del Cretácico y Cenozoico del litoral pacífico de Costa Rica. - Rev. geol. Amer. Central, 1: 57 - 136. San José, Costa Rica.

- Baumgartner, P.O. (1987): Tectónica y sedimentación del Cretácico superior en la zona pacífica de Costa Rica (América Central). - Actas Fac. Ciencias Tierra, U.A.N.L. Linares, 2: 251 - 260. In: Barbarin C., J.M., Gursky, H.-J. y Meiburg, P.(Ed.): El Cretácico de México y América Central. Linares, México.
- Bourgeois, J., Azéma, J., Baumgartner, P.O., Tournon, J., Desmet, A. y Aubouin, J. (1984): The geologic history of the Caribbean-Cocos plate boundary with special reference to the Nicoya ophiolite complex (Costa Rica) and D.S.D.P. results (Legs 67 and 84 off Guatemala): a synthesis. - Tectonophysics, 108: 1 - 32. Amsterdam (Elsevier).
- Burke, K., Fox, P.J. y Sengör, A.M.C. (1978): Buoyant ocean floor and the evolution of the Caribbean. - J. geophys. Res., B, 83: 3949 - 3954. Washington, D.C.
- Burke, K. (en prensa): Tectonic evolution of the Caribbean. - Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 48 pp.
- Donnelly, T.W., Melson, W.G., Kay, R. y Rogers, J.J.W. (1973): Basalts and dolerites of Late Cretaceous age from the central Caribbean.: 989 - 1011. In: Edgar, N.T., Saunders, J.B., et al.(Ed.): Init. Rep. Deep Sea Drilling Proj. Washington, D.C. (U.S. Government Printing Office).
- Ewing, J., Antoine, J. y Ewing, M. (1960): Geophysical measurements in the western Caribbean Sea and in the Gulf of Mexico. - J. geophys. Res., 65: 4087 - 4126. Washington, D.C.
- Furnes, H. y Fridleifson, J.B. (1979): Pillow block breccia - occurrence and mode of formation. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1979: 147 - 154. Stuttgart (Schweizerbart).
- Gealey, W.K. (1980): Ophiolite obduction mechanism.: 228 - 243. In: Panayiotou, A.(Ed.): Ophiolites. Proc. Int. Ophiol. Symp. Cyprus 1979. 781 pp. Nicosia, Cyprus.
- Gursky, H.-J. y Schmidt-Effing, R. (1983): Sedimentology of radiolarites within the Nicoya ophiolite complex, Costa Rica, Central America. - Dev. Sedimentol., 36: 127 - 142. In: Iijima, A., Hein, J.R. y Siever, R.(Ed.): Siliceous deposits in the Pacific region. Amsterdam (Elsevier).
- Gursky, H.-J., Gursky, M., Schmidt-Effing, R. y Wildberg, H. (1984): Karten zur Geologie von Nordwest-Costa Rica (Mittelamerika) mit Erläuterungen. - Geologica et Palaeontologica, 18: 173 - 182. Marburg.
- Herron, E.M. (1972): Sea-floor spreading and the Cenozoic history of the East-Central Pacific. - Geol. Soc. Am. Bull., 83: 1671 - 1692. Boulder, Colorado.

- Jager, G. (1977): Geología de las mineralizaciones de cromita al Este de la Península de Santa Elena, Provincia de Guanacaste, Costa Rica. - Tesis Univ. San José, 136 pp. San José, Costa Rica.
- Kuijpers, E.P. y Jager, G.C. (1979): Mineralizaciones de cromita en la península de Santa Elena, Costa Rica. - *Cienc. Tec.*, 3: 99 - 108.
- Kuijpers, E.P. y Denyer, P.C. (1979): Volcanic exhalative manganese deposits of the Nicoya ophiolite complex, Costa Rica. - *Econ. Geol.*, 74: 672 - 692. New Haven, Connecticut.
- Kuijpers, E.P. (1980): The geologic history of the Nicoya ophiolite complex. - *Tectonophysics*, 68: 233 - 255. Amsterdam (Elsevier).
- Lew, L.R. (1984): The geology of the Osa peninsula, Costa Rica: observations and speculations about the evolution of part of the outer arc of the southern Central American orogen. - Ph.D. Thesis Pennsylvania Univ., 128 pp. Pennsylvania.
- Malfait, B.T. y Dinkelman, M.G. (1972): Circum-Caribbean tectonic and igneous activity and the evolution of the Caribbean plate. - *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83: 251 - 272. Boulder, Colorado.
- Meschede, M. (1986): A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. - *Chem. Geol.*, 56: 207 - 218. Amsterdam (Elsevier).
- Moore, J.G. (1975): Mechanisms of formation of pillow lava. - *Am. Sci.*, 63: 269 - 277.
- Obando-Rodríguez, J.A. (1986): Sedimentología y tectónica del Cretácico y Paleógeno de la región de Golfito, Península de Burica y Península de Osa, Provincia de Puntarenas, Costa Rica. - Tesis Univ. San José, 210 pp. San José, Costa Rica.
- Pearce, J.A. (1983): A "user's guide" to basalt discrimination diagrams. unpubl. manuscript. Milton Keynes.
- Schmidt-Effing, R. (1979): Alter und Genese des Nicoya-Komplexes, einer ozeanischen Paläokruste (Oberjura bis Eozän) im südlichen Zentralamerika. - *Geol. Rdsch.*, 68 (2): 457 - 494. Stuttgart (Enke).
- Schmidt-Effing, R. (1980): Radiolarien der Mittel-Kreide aus dem Santa-Elena-Massiv von Costa Rica. - *N. Jb. Geol. Paläont., Abh.*, 160: 241 - 257. Stuttgart (Schweizerbart).

- Seyfried, H. (1986): Strukturgeschichte und Sedimentation an einem konvergenten Plattenrand: Das Beispiel der südlichen mittelamerikanischen Landbrücke.: 7 - 13. In: Giese, P.(Ed.): 10. Geowissenschaftliches Lateinamerika-Kolloquium Berlin, 19. - 21. November 1986. Berliner geowiss. Abh. (A). 211 pp. Berlin.
- Seyfried, H. y Sprechmann, P. (1985): Acerca de la formación del puente-istmo Centroamericano meridional, con énfasis en el desarrollo acaecido desde el Campaniense al Eoceno. - Rev. geol. Amer. Central, 2: 63 - 87. San José, Costa Rica.
- Seyfried, H. y Sprechmann, P. (1986): Über die Frühgeschichte (Campan bis Eozän) der südlichen mittelamerikanischen Landbrücke. - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1986: 38 - 55. Stuttgart (Schweizerbart).
- Seyfried, H., Astorga G., A. y Calvo V., C. (1987): Sequence stratigraphy of deep and shallow water deposits from an evolving island arc: the Upper Cretaceous and Tertiary of Southern Central America. - Facies, 17: 203 - 214. Erlangen.
- Wildberg, H.G.H. (1984): Der Nicoya-Komplex, Costa Rica, Zentralamerika: Magmatismus und Genese eines polymagmatischen Ophiolith-Komplexes. - Münster. Forsch. Geol. Paläont., 62 123 pp. Münster.