

ESFUERZOS Y PALEO-ESFUERZOS DE LA CUENCA DE LIMON

Percy Denyer¹, Olman Arias¹ & Mario Arias¹

¹Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica
Apdo. 35-2060 UCR, Costa Rica, América Central

ABSTRACT: Using strike and dip of maps of the Compañía Petrolera de Costa Rica, the paleo-stresses of the Limón Basin are determined. They are compared to 1991 stresses calculated from fractures occurred during the Limón 1991 earthquake.

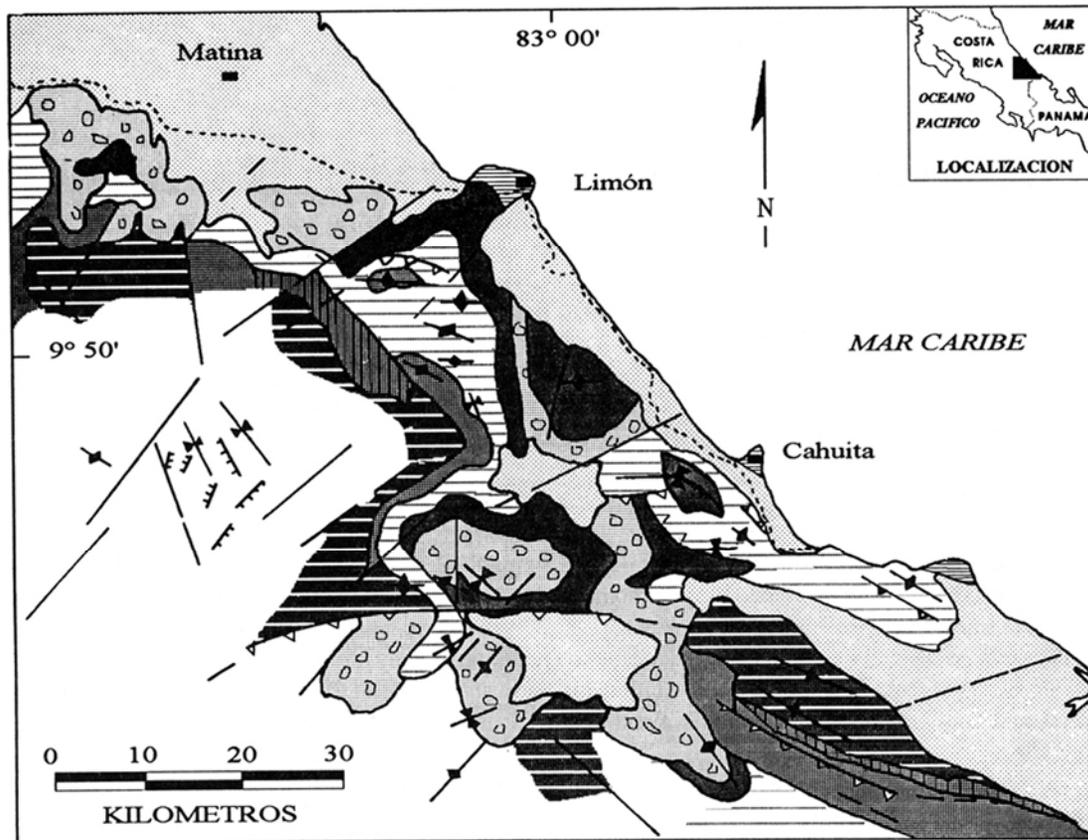
The stresses have not change from Paleocene to Quaternary. They are trending between N0 E-N40 E, with a greater tendency toward the north-south in the north and northeast (N20 E-N40 E) region than in the central and southern region. A tectonic event occurred in the Eocene-Oligocene which had the same orientation.

The stresses calculated in the faulting zones related to the Limón earthquake very similar, except in the central region where it seems to be dominated by a northeast tension. The mapped faulting zones are the borders of blocks which moved during the earthquake. The similarity between the coseismic faults and the high-angle faults of the Limon Basin, show that they were older faults which were reactivated during the earthquake.

RESUMEN: Se da una ubicación preliminar de los paleo-esfuerzos en la Cuenca de Limón, a partir de datos de buzamiento de la Compañía Petrolera de Costa Rica, los cuales se comparan con los esfuerzos determinados a partir de las fracturas que se produjeron durante el terremoto.

Del análisis de los datos se llega a la conclusión de que los ejes de esfuerzo no han variado desde el Paleoceno hasta el Cuaternario, con una dirección generalizada N0°E-N40°E; teniendo en la región septentrional una tendencia más norte-sur, y en la parte sur y central más noreste (N20-40°E). Una tectónica compresiva, con la misma dirección, ocurrió en el Eoceno-Oligoceno.

La orientación de esfuerzos medido en las zonas de fallamiento co-sísmico muestra gran similitud con los paleo-esfuerzos, es decir una dirección nor-noreste; con excepción de la región de La Estrella, donde parece dominar la tensión noreste. Las zonas de fallamiento, que fueron cartografiadas, definen segmentos en el movimiento del bloque superior, que se movió durante el terremoto. La correspondencia entre el rumbo del fallamiento co-sísmico y antiguas fallas de alto ángulo es una evidencia de que este fallamiento representa la reactivación de fallas pre-existentes.



Simbología

	Aluvión		Anticlinal, sinclinal
	Arrecifes		Falla inversa
	Formación Suretka		Falla normal o transcurrente
	Formación Río Banano		Estructura volcánica
	Formación Uscari		Población
	Miembro Dacli		Carretera
	Formación Senosri		
	Formación Tuis		

Fig. 1: Mapa geológico generalizado de la cuenca de Limón, hecho con base en el mapa de la Compañía Petrolera de Costa Rica (Bolaños, 1983). Los ejes de pliegues y fallas que se muestran son una síntesis de diferentes autores (Dirección General de Recursos Minerales, 1976; MIEM, 1982; Escalante, 1983; en Castillo, 1984; Malavassi, 1985; Denyer et al., 1987; Campos, 1987).

INTRODUCCION

En este trabajo se exponen algunas ideas preliminares sobre la orientación de los paleo-esfuerzos determinados a partir de buzamientos, y estos datos se comparan con los esfuerzos calculados a partir de fracturas que se formaron durante el Terremoto de Limón de 1991.

En la Cuenca de Limón se han realizado numerosos y detallados mapas geológicos, como los de la Compañía Petrolera de Costa Rica. Gran parte de estos trabajos se encuentran en un mapa síntesis, escala 1:100.000, que fue expuesto en la tesis de Licenciatura de Bolaños (1983). De este mapa se tomaron 2402 datos de buzamiento, los cuales se ingresaron en la base de datos AREST (Arias, 1992), y con este programa se hizo la separación por regiones y por unidades geológicas, para proceder al análisis de los esfuerzos. El análisis se hizo usando los programas SPLOT (Darlton Software) y ROSA (Arias, 1992).

Para el análisis del patrón de esfuerzos del fallamiento superficial, se usó la metodología los diedros rectos (Angelier & Mechler, 1977; Angelier, 1979). Esta metodología se usó con resultados muy positivos en el enjambre sísmico de Puriscal (Arias & Denyer, 1991).

AGRADECIMIENTOS

El financiamiento y el tiempo de dedicación de los que participamos en este trabajo fue cubierto por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica: Proyecto 113-90-071, con el apoyo del Director de la Escuela de Geología: Walter Montero.

Se agradece a Manuel Barrantes, quien digitó la información en la base de datos.

ORIENTACION DE PALEO-ESFUERZOS

Los paleo-esfuerzos pueden deducirse en forma muy preliminar, basándose en los buzamientos. Considerando que la tectónica de la región puede variar a través del tiempo geológico, se hizo un análisis por separado para cada una de las unidades

geológicas mapeadas por la Compañía Petrolera a mediados de siglo (Bolaños, 1983). La figura 1 es una síntesis de este mapa, donde se puede observar en forma generalizada la ubicación espacial de cada una de las unidades analizadas en este trabajo. Los ejes de pliegues y fallas que se muestran en la figura 1, son una síntesis de diferentes autores (Dirección General de Recursos Minerales, 1976; MIEM, 1982; RECOPE, 1981; en Bolaños, 1983; Escalante, 1983; en Castillo, 1984; Malavassi, 1985; Denyer et al., 1987; Campos, 1987).

Las unidades analizadas varían de edad, desde el Paleoceno hasta el Cuaternario, de la más antigua a la más joven: Tuis (Eoceno-Paleoceno), Senosri (Eoceno-Oligoceno), Dacli (Oligoceno), Uscari (Mioceno), Río Banano (Mioceno-Plioceno; denominada Gatún por la Compañía Petrolera) y Suretka (Plio-Pleistoceno). El ambiente deposicional de estas unidades varía desde marino relativamente profundo, en el talud continental (Tuis), mostrando una progresiva somerización, hasta depósitos deltáicos y continentales (Río Banano y Suretka).

El análisis del total de buzamientos ($n = 2402$), muestra una tendencia marcada de los rumbos N50-60°W, con buzamientos que varían entre máximos de 10° y 30° (Fig. 2A), tanto hacia el NE como como al SW. La Formación Suretka ($n = 297$) muestra rumbos preferenciales N50-60°W, con buzamientos máximos entre 25°-30° y 5°-15°, hacia el SW (Fig. 2B). La Formación Río Banano ($n = 474$), tiene un rumbo máximo entre N50-60°W, y buzamientos entre 5° y 20° (Fig. 2C). En la Formación Uscari ($n = 1004$), los rumbos máximos varían entre N50-80°W, buzando preferencialmente al sur, con ángulos de buzamiento principales entre 10° y 30° (Fig. 2D). El Miembro Dacli ($n = 422$) tiene una mayor dispersión en cuanto a los rumbos, con tres máximos, N20-40°W, N60-70°W y N80-90°E, en todas las tendencias existe una marcada preferencia de la dirección de buzamiento al suroeste; los ángulos de buzamiento principales varían entre 15° y 40° (Fig. 2E). En la Formación Senosri ($n = 42$) los rumbos tienen dos máximos N30-60°W y N70°W-S80°W, los ángulos de buzamiento tienen dos máximos, uno entre 10°-20° y otro entre 30°-35° (Fig. 2F). Por último, la Formación Tuis ($n =$

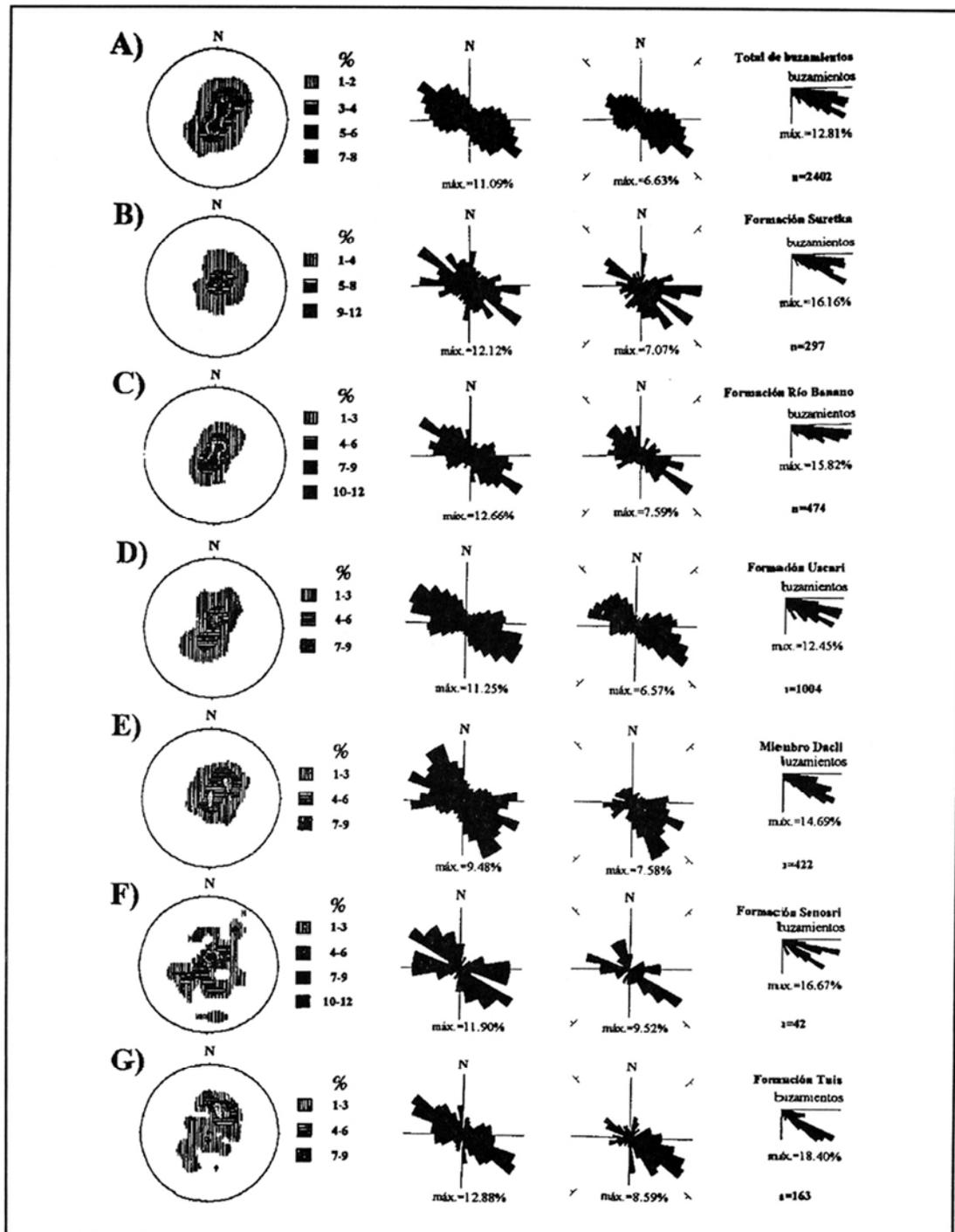


Fig. 2: Análisis estadístico de los buzamientos de la Cuenca de Limón, utilizando el método de SCHMIDT y MORSE en el hemisferio inferior de la red estereográfica, la rosa simétrica y asimétrica de rumbos, y el análisis de los ángulos de buzamiento. A) total de los datos. B) Formación Suretka. C) Formación de Río Banano. D) Formación Uscari. E) Miembro Dacli. F) Formación Senosri. G) Formación Tuis.

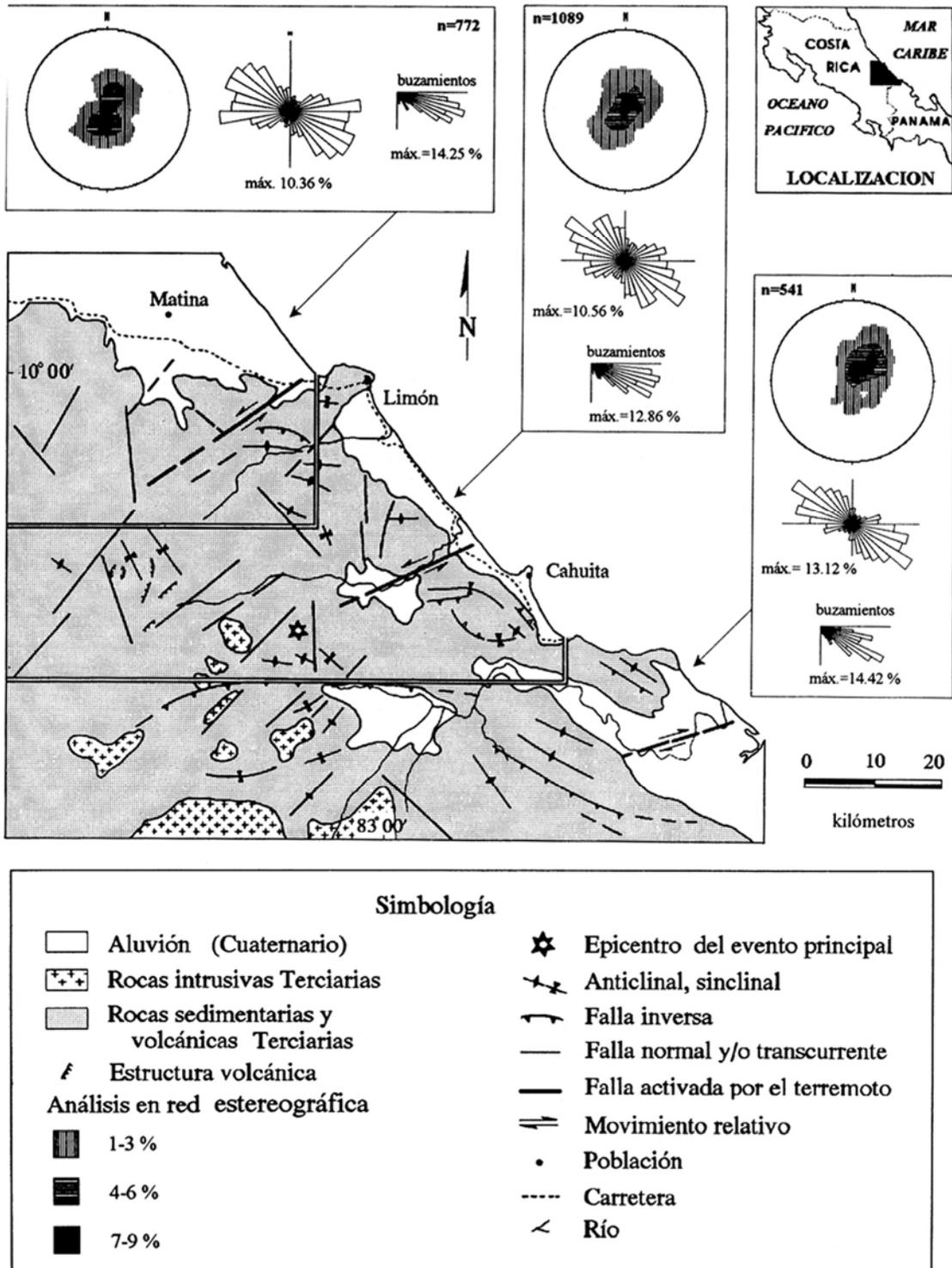


Fig. 3: Análisis de buzamientos por regiones. Se aplica el método de Schmidt y se muestra el hemisferio inferior de la red estereográfica, la rosa simétrica de rumbos y el análisis de los ángulos de buzamiento. El análisis se hizo en tres

163) tiene rumbos preferenciales entre N50-70°W, buzando básicamente hacia el sur, con ángulos entre 25° y 40° Fig. 2G).

A partir de este análisis se interpreta que la dirección de los esfuerzos principales no ha variado desde el Paleógeno al Cuaternario, siendo incluso muy similar el análisis de cada unidad con relación al conjunto de todos los datos de buzamiento. Además, las unidades más antiguas presentan ángulos de buzamiento mayores, probablemente producto de una tectónica Eoceno-Oligoceno, que afectó a las unidades Tuis, Senosri y Dacli, con la misma dirección que la tectónica Plioceno-Cuaternaria, que afectó además a las unidades Uscari, Río Banano y Suretka.

Para poder establecer la regionalidad de estas interpretaciones, se hizo el análisis separado en tres áreas, una más septentrional, otra central y por último la más meridional (Fig. 3). Como en el análisis anterior no se encontraron mayores diferencias entre las diferentes unidades geológicas, el análisis por áreas se hizo con todos los datos, dividiéndolos únicamente por coordenadas. Basándose en la figura 3 se nota como la parte central y sur son muy similares mostrando rumbos preferenciales N40-70°W y ángulos de buzamiento

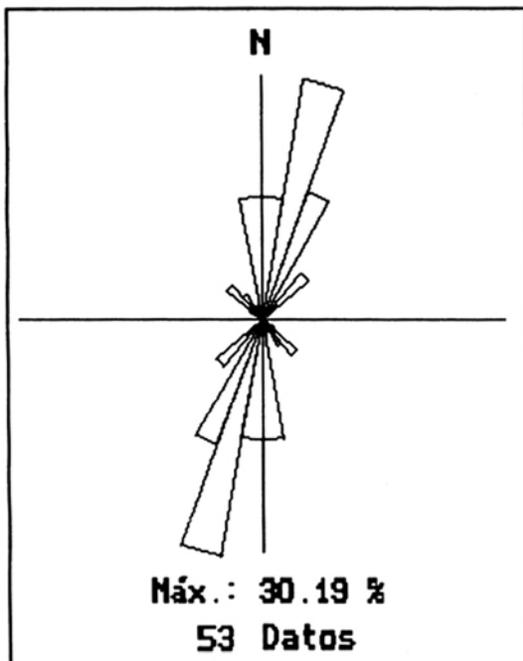


Fig. 4: Rosa simétrica de rumbos de diques post-Mioceno, cartografiados por Dengo (1962).

entre 10° y 25°. El área norte es ligeramente diferente con rumbos entre N40°W y S80°W, lo cual es coherente con un plegamiento con ejes más este-oeste, como se muestra en la figura 3.

Dengo (1962) presenta el cartografiado (rumbo y ubicación) de un enjambre de diques (post-Mioceno) en la cuenca de Limón, en un área que cubre desde el río Telire, hasta la ciudad de Limón. Estos datos se procesaron para mostrar la rosa de rumbos en la figura 4, dando un máximo N10-20°E, lo que es completamente correspondiente con los datos anteriormente expuestos, es decir una compresión nor-noreste.

ORIENTACION DEL CAMPO DE ESFUERZOS DURANTE EL TERREMOTO

La figura 5 muestra las principales estructuras tectónicas Terciarias y Cuaternarias, lo que sugiere que durante los últimos millones de años, la región ha sido sometida a esfuerzos compresivos con dirección norte y noreste. Se comparan estos paleoesfuerzos, con el patrón de análisis de esfuerzos obtenidos a partir de los indicadores del fallamiento superficial, que se describió anteriormente.

Para el análisis del patrón de esfuerzos del fallamiento superficial, se usó la metodología de los diedros rectos (Angelier & Mechler, 1977; Angelier 1979). Se usaron los datos de planos de fallamiento en depósitos superficiales, en cuales la mayoría de los movimientos se dieron en materiales dúctiles o semidúctiles donde el principal tipo de fracturas son las Riedel, porque los planos de falla prácticamente no están expuestos. Las medidas se restringieron a fracturas con movimiento horizontal, y se infiere que las fallas son de alto ángulo, esto debido a lo ambiguo del origen de los desplazamientos verticales.

Los datos se separaron en tres áreas para su análisis. La primer área incluye los alrededores de Río Blanco y muestra una dirección de compresión preferencial nor-noreste y nor-noroeste. El área del Valle de La Estrella y Cahuita muestran una orientación de la compresión noroeste. Por último, Talamanca y Manzanillo muestran una compresión noreste. Estas direcciones de esfuerzo son muy consistentes con mecanismos focales de algunas de las réplicas (W. Rojas, com. oral, 1992).

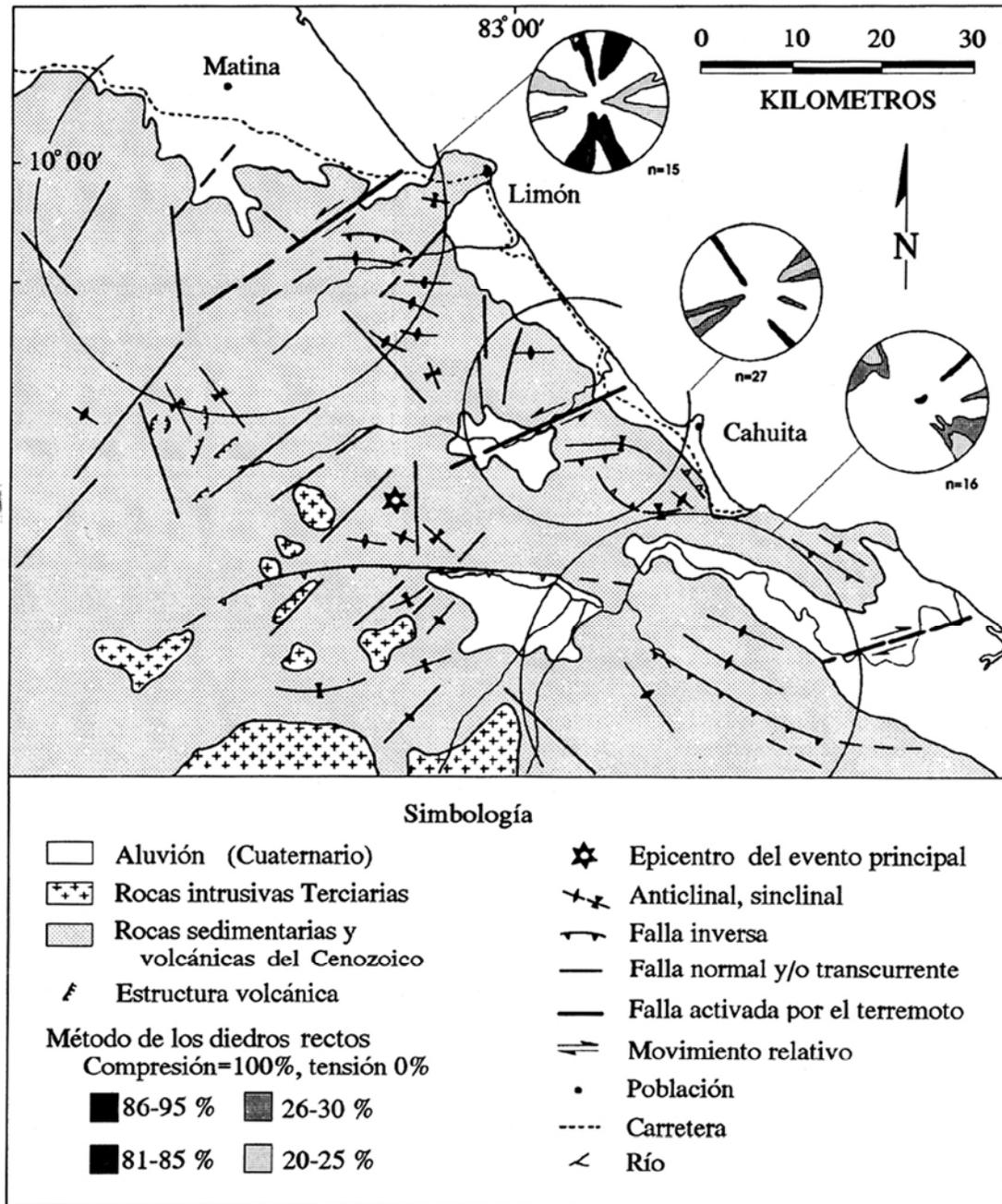


Fig. 5: Análisis de esfuerzos, usando la metodología de los diedros rectos, en tres regiones: septentrional o de Limón-Río Blanco, central o de la Estrella-Cahuita, y meridional o de Sixaola-Manzanillo.

Aunque estas direcciones de esfuerzos son muy compatibles con los paleo-esfuerzos, estimados a partir de los ejes de plegamiento y el fallamiento inverso (Fig. 3), las incompatibilidades entre el fallamiento superficial sinistral en Río Blanco y La Estrella, y dextral en Sixaola; reafirma la conclusión de que las fallas superficiales transcurrentes que se cartografiaron, son fallas de desgarre que fragmentaron el bloque que se movió diferencialmente durante la ruptura que produjo el terremoto del 22 de abril de 1991, por lo tanto no pueden ser usadas para la determinación de patrones de esfuerzo regional.

La similitud del rumbo de las fallas transcurrentes superficiales cartografiadas por los autores, con las fallas de alto ángulo de la región, indica que estas superficies de fallamiento ocurrieron en fallas pre-existentes reactivadas durante el terremoto.

CONCLUSIONES

La Cuenca de Limón ha sido afectada por una tectónica, cuyos ejes de esfuerzos no han variado desde el Paleoceno hasta el Cuaternario, con una dirección generalizada N0 E-N40°E; siendo en la región septentrional más norte-sur, y en la parte sur y central más noreste (N20-40°E). Una tectónica compresiva, afectó a las unidades geológicas más antiguas (Tuis, Senosri y Dacli) durante el Eoceno-Oligoceno.

Existe bastante similitud entre la los paleo-esfuerzos y el patrón de orientación de esfuerzos medido en las zonas de deformación de fallamiento co-sísmico. Sin embargo el movimiento interpretado en las tres zonas de fallamiento co-sísmico cartografiado no es igual, teniendo las tres zonas un rumbo noreste, en Río Blanco y La Estrella el movimiento es sinistral, mientras que en Sixaola se dio un movimiento dextral. Estas incompatibilidades indican que éstas, son fallas de desgarre que definen segmentos en el movimiento del bloque superior, que se movió durante el terremoto. La correspondencia entre el rumbo del fallamiento co-sísmico y el de fallas antiguas de alto ángulo, es una evidencia de que este fallamiento representa la reactivación, durante el terremoto, de fallas pre-existentes.

La orientación del eje de tensión NE en la

región del Valle de la Estrella (Fig. 5), podría ser el resultado de una tensión con este sentido, cerca de la costa, lo cual es correspondiente con el desplazamiento NE del bloque comprendido entre las fallas de río Blanco y La Estrella.

REFERENCIAS

- Angelier, J., 1979: Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. - *Tectonophysics*, **56**: T17-T26.
- Angelier, J., & Mechler, P., 1977: Sur une méthode de recherche des contraintes également utilisable en tectonique et en seismologie: la méthode des diédres droits. - *Bull. Soc. géol. France*: **XIX**(6):1309-1318.
- Arias, O., 1992: Manejo automatizado de datos estructurales y su aplicación en la geología estructural de Costa Rica. - 171 págs. + 4 disketes, Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, Tesis de Licenciatura.
- Arias, O., & Denyer, P., 1991: Aspectos neotectónicos y geológicos de Puriscal y alrededores, Costa Rica. - *Rev. Geol. América Central*, **12**: 83-95.
- Bolaños I.K., 1983: Evaluación geológica de los depósitos carboníferos de Baja Talamanca para un estudio de prefactibilidad, provincia de Limón, Costa Rica. - 124 págs. Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, Tesis de Licenciatura.
- Castillo M.R., 1984: Geología de Costa Rica, una sinopsis. - 188 págs., Editorial Universidad de Costa Rica, San José.
- Campos, B.L., 1987: Geología de la fila Asunción y zonas aledañas, Atlántico Central, Costa Rica. - 83 págs., Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, Tesis de Licenciatura.
- Dengo, G., 1962: Tectonic-Igneous Sequence in Costa Rica. - *Petrologic studies*, volume in honor of A.F. Buddington, *Geol. Soc. Am.*:133-161.
- Denyer, P., Feoli, S., Murillo, G. & Rodríguez, C., 1987: Cartografía geológica de un sector de los alrededores de la cuenca alta del río Niñey, Limón, Costa Rica. - *Rev. Geol. América Central*, **7**: 113-141.
- Dirección General de Recursos Minerales, 1976: Mapa geológico región occidental Bocas Chiriquí. - Panamá, Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia", escala 1:250.000.
- Malavassi, L.R., 1985: Geología del área Sur de Baja Talamanca en relación con los depósitos de carbón, provincia de Limón, Costa Rica. - 88 págs., Escuela de Geología, Universidad de Costa Rica, Tesis de Licenciatura.
- MIEM, 1982: Mapa geológico de Costa Rica. - San José, Costa Rica, Instituto Geográfico Nacional, 9 mapas, escala 1:200.000.