



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

"MECANISMOS FOCALES DE SISMOS EN EL NORTE
DE BAJA CALIFORNIA"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
O C E A N O L O G O
PRESENTA
MARCO ANTONIO MURILLO BETANCUR

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, JULIO DE 1989.

RESUMEN

En este trabajo de Tesis se obtienen las localizaciones y soluciones del mecanismo focal de un total de 117 sismos de magnitud mayor que 2.9, ocurridos entre los 31 y 33 de latitud norte y los 114 y 118 de longitud oeste, desde junio de 1982 hasta diciembre de 1987. La localización de los eventos sísmicos se hace mediante el programa HYP071 para determinar hipocentros, el cual se basa en el método de Geiger (en Lee y Lahr, 1972) para resolver un sistema de ecuaciones no-lineales por linealización mediante un esquema mínimo-cuadrático. Las soluciones de los mecanismos focales se obtienen graficando los datos de polaridad de primeros arribos de onda P, sobre una proyección equiaereal del hemisferio superior de la esfera focal. Sobre esta proyección se dibujan, con la ayuda de una red estereográfica, los dos planos nodales y los ejes T y P de máximos esfuerzos tensionales y compresionales. Los datos que se utilizan están formados por tiempos de arribo y polaridad de primeros arribos de onda P registrados en su mayoría por la Red Sismológica del Noreste (RESNOR) y por la Red del Sur de California operada conjuntamente por Caltech y el U. S. Geological Survey. Se obtuvieron 83 soluciones de buena calidad y 34 de calidad moderada, lo cual representa el 53% de todos los casos que se pretendía estudiar en el inicio de la Tesis. El resto de las soluciones son de mala calidad o no se pudieron obtener ya

que no se pudo contar con los datos correspondientes. Las soluciones son predominantemente de rumbo en las tres provincias estudiadas. Se encontró que para el Borde Continental los sismos tienden a ser de rumbo (25) e inversos (12), asociándose al parecer estos últimos, con cambios en la orientación de las fallas. Se obtienen un total de cinco soluciones de tipo normal ocurridas en el Borde Continental presentándose cuatro de ellas, después de ocurrido un evento con mecanismo focal inverso. Las soluciones de los sismos estudiados en las Cordilleras son de rumbo o mixtas entre rumbo y echado en sismos localizados en las Fallas San Miguel, Sierra Juárez y Elsinore. Las soluciones de mecanismo focal de los sismos estudiados en la Cuenca de Salton son de rumbo (37) y normales (2). Los sismos que produjeron estas soluciones se localizan principalmente en las Fallas de Superstition Hills y Laguna Salada así como unos pocos en las zonas sísmicas de Brawley y de Mexicali. En general para las tres provincias anteriores, el plano B de las soluciones se correlaciona bien con la orientación de las fallas mapeadas. Se incluyen las soluciones aportadas por otros investigadores en trabajos anteriores completándose así un catálogo de soluciones de mecanismos focales para el norte de Baja California y sur de California.


"MECANISMOS FOCALES DE SISMOS EN EL
NORTE DE BAJA CALIFORNIA"

T E S I S
QUE PRESENTA:
MARCO ANTONIO MURILLO BETANCUR

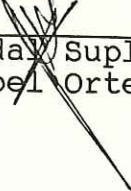
Aprobada por:




Presidente del Jurado
M.C. Francisco Suárez Vidal




Sinodal Propietario
Dr. José Frez Cárdenas



Sinodal Suplente
M.C. Amabel Ortega Rivera



Sinodal Propietario
M.C. Victor Wong Ortega



Sinodal Suplente
Oc. Ana Luz Quintanilla M.

AGRADECIMIENTOS:

Quiero agradecer al CICESE el haberme permitido realizar este proyecto de Tesis con el apoyo de todo su personal. Por las facilidades técnicas que se me prestaron y por el apoyo económico que obtuve.

Quiero agradecer en especial a mi asesor de Tesis el Dr. José Frez quien nunca cesó en su deseo por comunicar sus conocimientos y deseo de superación.

Quiero agradecer a la todos los maestros de la UABC que influyeron en mi formación como profesionista y a la institución misma por darme la facilidad de estudiar esta carrera.

Quiero agradecer al personal del Centro de Cómputo y de Biblioteca del CICESE por toda la ayuda prestada para la realización de esta Tesis.

a mis padres, Angela y Humberto Murillo.

a mis compañeros,
Jaime Carlos y
Guillermo.

INDICE

| | página. |
|---|---------|
| RESUMEN | I |
| LISTA DE FIGURAS Y TABLAS | VIII |
| CAPITULO I - INTRODUCCION | 1 |
| I.1. Generalidades | 1 |
| I.2. Conceptos Básicos de Sismotectónica | 2 |
| I.3. Area de Estudio | 11 |
| I.4. Antecedentes | 16 |
| I.4.1. Marco Tectónico | 17 |
| I.4.2. Sismicidad y Mecanismos Focales | 21 |
| I.5. Objetivos | 26 |
| CAPITULO II - METODOLOGIA Y BASE DE DATOS | 29 |
| II.1. Determinación Hipocentral | 29 |
| II.1.1. Método Geiger | 30 |
| II.1.2. Deficiencias del Método | 34 |
| II.2. Determinación de Mecanismos Focales | 36 |
| II.3. Base de Datos | 41 |
| II.3.1. Corrección de la Polaridad de Onda P para las Estaciones Resnor | 44 |
| CAPITULO III - RESULTADOS | 51 |
| III.1. Introducción | 51 |

| | |
|---|-----|
| III.2. Borde Continental | 62 |
| III.2.1. Introducción | 62 |
| III.2.2. Estructura y Localización Hipocentral | 66 |
| III.2.3. Mecanismos Focales | 71 |
| III.2.4. Dirección de los Ejes T y P | 86 |
| III.2.5. Descripción de Resultados | 89 |
| III.3. Cordilleras Peninsulares | 96 |
| III.3.1. Introducción | 96 |
| III.3.2. Estructura y Localización Hipocentral | 98 |
| III.3.3. Mecanismos Focales | 101 |
| III.3.4. Dirección de los Ejes T y P | 118 |
| III.3.5. Descripción de Resultados | 119 |
| III.4. Cuenca de Salton | 127 |
| III.4.1. Introducción | 127 |
| III.4.2. Estructura y Localización Hipocentral | 128 |
| III.4.3. Mecanismos Focales | 129 |
| III.4.4. Dirección de los Ejes T y P | 145 |
| III.4.5. Descripción de Resultados | 146 |
| CAPITULO IV - DISCUSION Y CONCLUSIONES | 152 |
| RECOMENDACIONES | 163 |
| LITERATURA CITADA | 166 |
| APENDICE | 176 |

LISTA DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Sismicidad mundial ocurrida entre 1961 y 1971.

Tomado de Lomnitz (1974).

Figura 2. Principales procesos de interacción entre las placas que forman la litósfera. Con la letra A se señalan los lugares donde ocurre deslizamiento tangencial en fallas transformadas: con la B, movimiento divergente en centros de dispersión y con la letra C, convergencia en zonas de subducción.

Modificado de Isacks et al, (1968): en Kenett (1982).

Figura 3. Falla normal (arriba), Falla inversa (centro) y Falla transcurrente o de rumbo (abajo).

Figura 4. Area de estudio y provincias fisiográficas (recuadro interior).

Figura 5. Mapa de los principales sistemas de fallas dentro y alrededor del área de estudio. Adaptado de Frez y González (1989). Las abreviaciones usadas son: Z1, zona sísmica de Mexicali: Z2, zona sísmica de

Brawley: FTH, Falla Tres Hermanas.

Figura 6. Sistema idealizado de fallas transformadas y centros de dispersión en la región del Delta del Río Colorado y en la Cuenca de Salton. Tomado de Lomnitz et al, (1970).

Figura 7. Determinaciones epicentrales para la región de estudio desde 1964 hasta julio de 1988. Basado en el catálogo del USGS-CalTec del sur de California. Tomado de Frez y González (1989).

Figura 8. Temblores de magnitud o igual a 5.0 en el norte de Baja California, sur de California y áreas adyacentes, desde 1903 hasta febrero de 1978. Tomado de Frez y González (1989).

Figura 9. Estaciones sísmicas en el norte de Baja California y sur de California pertenecientes a las redes sísmicas de USGS-CalTec y de RESNOR, en Estados Unidos y México respectivamente.

Figura 10. Patrón de las ondas P para un doble par de fuerzas. El símbolo + indica compresión y el - dilatación. El plano F-F' representa una falla vertical de rumbo vista de planta.

Figura 11. Proyección del mecanismo focal en la cual se han separado las compresiones (C) y las dilataciones (D) por dos planos ortogonales. Los ejes X e Y representan la dirección de máximo esfuerzo de tensión y compresión respectivamente. El rumbo de los planos es $OA = 70^\circ$ (plano A), y $OB = 195^\circ$ (plano B). El echado de los ejes y los planos se indica con la letra

Figura 12. Convención en la polaridad de las tres componentes de movimiento en el sismograma (vertical, N-S y E-W) con respecto a la posición del epicentro.

Figura 13. Modelo utilizado en la determinación preliminar de hipocentros y mecanismo focal. Este modelo es intermedio entre los modelos de Nava y Brune (1982) y González (1986) para la Cuenca de Salton y las Cordilleras Peninsulares respectivamente.

Figura 14. Modelos utilizados en la Tesis para realizar la localización hipocentral. MC.SIE para las Cordilleras Peninsulares, MC.BOR para el Borde Continental y MC.VNOR, MC.VSUR y WEST-MESA, para la Cuenca de Salton.

Figura 15. Gráfica de residuales de tiempo de arribo de

onda P para las estaciones que registran los sismos ocurridos en la provincia del Borde Continental. Las localizaciones son utilizando el modelo MC.BOR.

Figura 16. Modelos de Corbett (1984), de Hauksson y Jones (1988) y MC.BOR, utilizados en el Borde Continental.

Figura 18. Mecanismos focales de los eventos localizados en el Borde Continental. Los ejes T y P denotan los ejes de máximos esfuerzos de tensión y de compresión respectivamente. Se anotan las estaciones críticas en la solución. Se incluyen los casos de calidad buena y moderada. Los de mala calidad aparecen en el apéndice. Las compresiones se indican con * y +, las dilataciones con 0 y \diamond .

Figura 19. Determinación de mecanismos focales para la región del Borde Continental. Los números corresponden al número de la solución en la Figura 18. Las soluciones indicadas con las letras de la A a la I corresponden a las soluciones de Legg (1985), la solución con letra J corresponde al estudio de González y Suárez (1984).

Figura 20. Soluciones de mecanismo focal determinadas por Hauksson y Jones (1988) para la secuencia de Oceanside

de julio de 1986. La indicada con una flecha corresponde al evento principal de la secuencia.

Figura 21. Soluciones de mecanismo focal de los eventos estudiados por Legg (1985) en el Borde Continental. Tomado de Legg (1985).

Figura 22. Soluciones de mecanismo focal de Rebollar y Reichle (1985) en Punta Colonett (fuera del área de estudio) y de González y Suárez (1984) (figura inferior) en la Bahía de Ensenada.

Figura 23. Gráfica de residuales de tiempo de arribo de onda P para las estaciones que registran los sismos ocurridos y estudiados en la provincia de las Cordilleras Peninsulares. El modelo utilizado en las localizaciones es el MC.SIE de la Figura 14.

Figura 24. Profundidades de focos sísmicos obtenidas por Rebollar y Reichle (1989) en sismos ocurridos en las Cordilleras Peninsulares del norte de Baja California durante el periodo 1982-1984. Las determinaciones son tomadas de aquellos sismos en los que se reportan al menos 5 estaciones cercanas (distancias menores de 15 km).

Figura 26. Mecanismos focales de los eventos ocurridos en las Cordilleras Peninsulares del sur de California y norte de Baja California. Se incluyen los casos con soluciones buenas y moderadas, los de mala calidad se incluyen en el apéndice. La simbología es la misma que la de la Figura 18.

Figura 28. Localización del sismo de Pino Solo de 1985 y su zona de réplicas. Se incluyen las localizaciones obtenidas por González (1985) y Nava y Brune (1983) para el evento ocurrido en 1975. Adaptado de González (1985).

Figura 29. a) Localización del sismo de Pino Solo de 1975 y su zona de réplicas (Nava y Brune, 1983). b) mecanismo focal para el evento de Pino Solo de 1975 (en línea continua) y sus réplicas (mecanismo focal compuesto -línea quebrada). Adaptado de González (1985).

Figura 30. Soluciones de mecanismo focal del evento de Pino Solo de mayo de 1985 (González, 1985). a) mecanismo compuesto para el evento principal y las réplicas más grandes. b) mecanismo focal para las réplicas del resto de la secuencia. Tomado de González (1985).

Figura 31. Soluciones de mecanismo focal obtenidas por Rebolgar y Reichle (1987) para tres eventos ocurridos en las Cordilleras Peninsulares del norte de Baja California. La localización del sismo indicado como C41 ($M = 4.4$) se presenta en la Tabla IV. Las localizaciones de los otros dos sismos (C6 y C5) aparecen en la Figura 27 (no se tiene su localización exacta en coordenadas).

Figura 32. Soluciones de mecanismo focal compuesto para un sector de la Falla San Miguel (solución a) y para el Valle de Ojos Negros (solución b). Estos sectores se indican en la Figura 27 como SOa y SOb.

Figura 33. Determinaciones epicentrales de los eventos ubicados en la Cuenca de Salton entre los $31^{\circ}N$ y los $33^{\circ}N$. Se incluyen los casos de buena, moderada y mala calidad en la solución del mecanismo focal.

Figura 34. Mecanismos focales de sismos localizados en la Cuenca de Salton. La simbología es la misma que la que aparece en la Figura 18. Se incluyen los casos de calidad buena y moderada en la solución del mecanismo focal. Los de mala calidad se presentan en el apéndice.

Figura 35. Determinación del mecanismo focal para los eventos estudiados en la Cuenca de Salton. Los números identifican la solución en la Figura 34. Las estrellas indican sismos con magnitud mayor que 5.0 ocurridos durante el periodo de estudio.

Figura 36. Determinaciones epicentrales obtenidas por Magistrale et al, (1988) para la secuencia de Superstition Hills de noviembre de 1987.

Figura 37. Soluciones de mecanismo focal de sismos estudiados por Frez y González (1989). Las soluciones de otros autores se incluyen con letras. Soluciones M, N y O, González (1986): Solución L, Albores et al, (1980): Soluciones de la F a la J, Johnson y Hadley (1976). Tomado de Frez y González (1989).

Figura 38. Soluciones de mecanismo focal determinadas por Goff et al, (1988) para el Golfo de California. Las soluciones localizadas al norte del Golfo, por arriba de los 32°N , se consideran dentro del área de estudio de la Tesis. Tomado de Goff et al, (1988).

Figura 39. Orientación promedio de el plano B de las soluciones de mecanismo focal para las tres provincias estudiadas. El rumbo que predomina en la provincia de

estaciones RESNOR en base al estudio de los mecanismos focales. El comportamiento correcto de una estación se indica con un OK. Si se presenta con la polaridad invertida en la solución, se indica con un *. El parentesis significa que el resultado es dudoso.

Tabla III. Lista de eventos sísmicos que entraron en este proyecto de Tesis. S=1: no hay datos: S=2: estudiado: S=3: pocos datos: S=*: estudiado.

Tabla IV. Eventos en los que otros autores han determinado mecanismos focales. El encabezado "LETRA" señala el símbolo en las figuras.

Tabla V. Localizaciones de los eventos ubicados en la provincia del Borde Continental, que presentan calidad buena y moderada en la solución del mecanismo focal. Se presentan además los resultados obtenidos en la orientación de los planos y los ejes de las soluciones. Las abreviaturas son: GAP, ángulo de no cobertura: DMIN, distancia mínima de una estación: RMS, root mean square (norma de los residuales): O, azimut: echado: A y B, planos nodales: P y T, ejes de compresión y de tensión.

Tabla VI. Localizaciones de los eventos ubicados en las

las Cordilleras Peninsulares refleja la orientación del trazo de la Falla San Miguel.

Figura 40. Orientación de los ejes T (triángulos) y P (círculos) de las soluciones de mecanismo focal. Los obtenidos para soluciones predominantemente de rumbo se gráficán en las figuras 1, 2 y 3. Los obtenidos para las soluciones de echado, se gráficán en las figuras 2, 3 y 4. El mecanismo focal que mejor se ajusta en los datos se indica con línea punteada.

Figura 41. Soluciones de mecanismo focal de los eventos de magnitud mayor que 4.8, en los que se han incluido datos de estaciones telesísmicas reportadas en el Reporte de Datos Sísmicos del USGS-CalTec.

Tabla I. Resultados de la determinación de la polaridad en las estaciones RESNOR durante 1982-1987. 1) estación correcta o invertida en las 3 componentes. 2) componente vertical invertida. 3) componente EW invertida. 4) componente NS invertida. Los puntos indican resultados claros y los círculos, resultados dudosos. No hay información del periodo entre noviembre de 1984 y junio de 1986.

Tabla II. Resultados del análisis de polaridad en las

Cordilleras Peninsulares, que presentan calidad buena y moderada en la solución del mecanismo focal. La simbología es la misma que la de la Tabla V.

Tabla VII. Localizaciones de los sismos ubicados en la Cuenca de Salton, que presentan calidad buena y moderada en la solución del mecanismo focal. Los indicados con una M en la primera columna corresponden a las Sierras del Oeste, con una N, los de el norte del valle y con una S, los del sur del valle.

CAPITULO I. INTRODUCCION.

I.1. - Generalidades.

El norte de Baja California es una de las regiones fronterizas que actualmente cuenta con mayor desarrollo en México. Sus riquezas naturales y ventajosa situación económica y geográfica han propiciado un alto crecimiento demográfico, extendiendose cada vez más las zonas habitacionales de las principales ciudades. Este crecimiento ha hecho que la infraestructura desarrollada para satisfacer las necesidades de la comunidad se mantenga en continuo crecimiento. Así, se demanda una gran responsabilidad al elaborar los proyectos de planeación, diseño y ejecución de obras de ingeniería civil. Gran parte de la ayuda en la elaboración de estos proyectos, proviene de las investigaciones que se realizan acerca de los temblores o sismos.

Como parte del estudio acerca del origen de los temblores, esta Tesis consiste en la determinación de los mecanismos focales de los sismos de magnitud (M) mayor a 3.5, ocurridos en ambas Californias entre las latitudes 31°N y 33°N, durante el periodo 1982-1987. Se le denomina solución del mecanismo focal, a la determinación de los

parámetros geométricos (rumbo y echado) de la falla que origino el temblor. A través del estudio de la sismicidad y de los mecanismos focales de los sistemas de fallas locales se puede contribuir en el conocimiento de la tectónica regional, lo cual, es crítico para comprender y predecir el comportamiento futuro de dichas fallas.

I.2. - Conceptos Básicos de Sismotectónica.

Es conveniente definir algunos términos relacionados con el presente estudio. Se entiende que una región es de alto riesgo sísmico cuando, aunado a la presencia de grandes asentamientos humanos, tenemos la ocurrencia de frecuentes temblores que son capaces de causar daños. A la actividad sísmica de una región se le denomina sismicidad. En un esquema global, las regiones que presentan alta sismicidad forman grandes alíneamientos en continentes y océanos (Fig. 1). Estos han sido explicados mediante la teoría de la tectónica de placas de la cual haremos una breve descripción.

Se define como litósfera a la cubierta rígida de la Tierra (hasta unos 100 km de profundidad). La litósfera está dividida en bloques denominados "placas", los que tienen movimientos relativos con velocidades del orden de 1

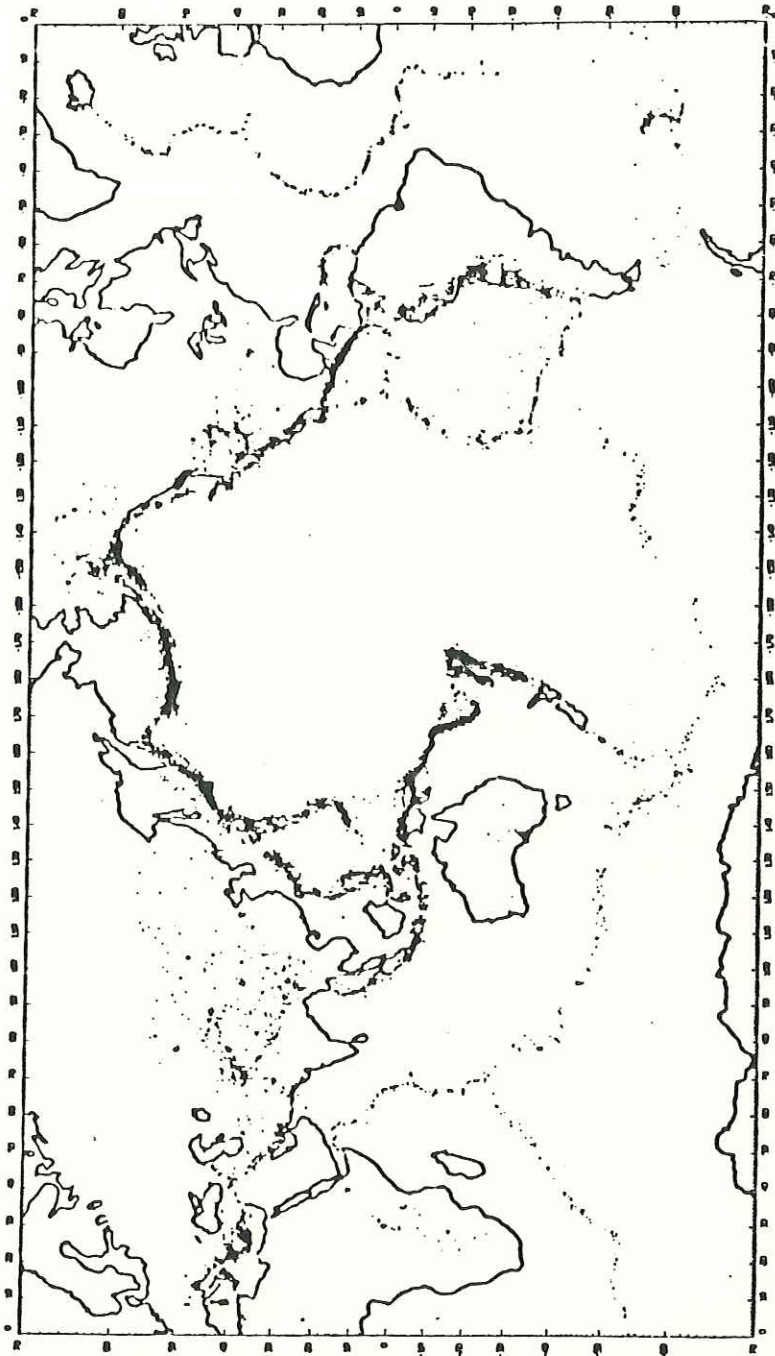


Fig.1 Sismicidad mundial ocurrida entre 1961 y 1971. Tomado de Lomnitz (1974).

a 6 cm por año. El movimiento relativo de estas placas puede ser divergente, convergente o tangencial. En este último caso, una se mueve con respecto a la otra a lo largo de grandes fracturas llamadas fallas transformadas (Fig. 2). Aquellas regiones donde las placas interactúan en forma divergente, permitiendo el ascenso y la acreción de nuevo material a la litósfera, se denominan centros de dispersión y constituyen las áreas principales de formación del piso oceánico. Generalmente estas zonas de acreción se encuentran en el océano asociada a largas cordilleras o crestas. Dos regiones donde actualmente ocurre formación de corteza sobre los continentes se encuentran en el Desierto de Afar en Africa y en la Depresión del Salton en la zona fronteriza de Mexico-Estados Unidos.

En las regiones denominadas zonas de subducción o trincheras, las placas convergen y normalmente una se hunde hacia el interior del manto. Se han reconocido tres casos de convergencia dependiendo del tipo de corteza que interactúa. Estos son la convergencia de corteza oceánica-oceánica, oceánica-continental y continental-continental. Finalmente las fallas transformadas definen fronteras donde dos placas se mueven tangencialmente, una con respecto a la otra, sin que sea creada o destruída la corteza. Estas fallas se encuentran uniendo zonas de subducción o de dispersión como se ilustra

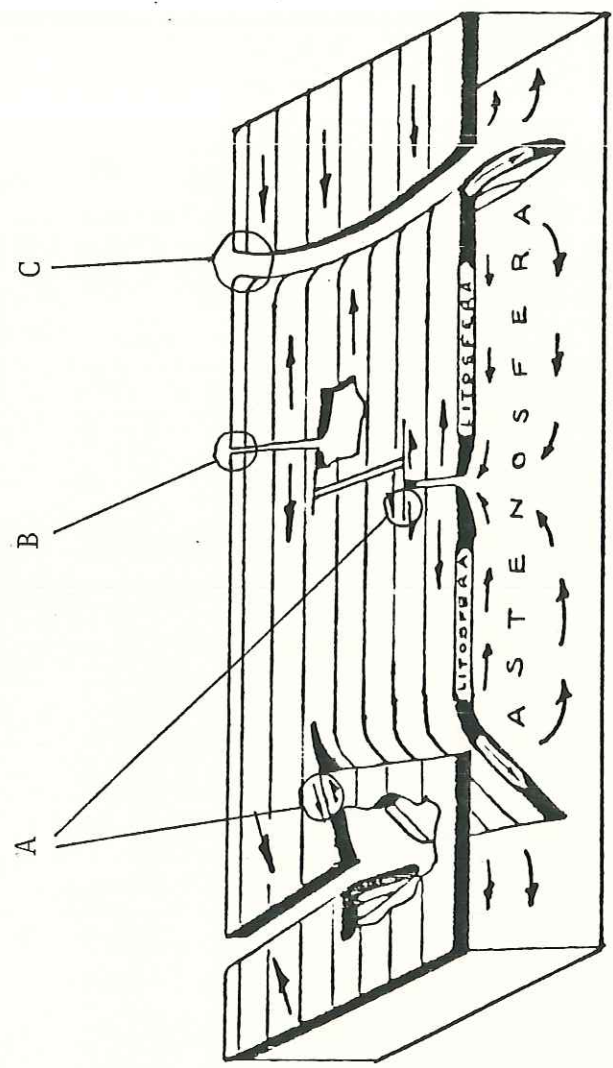


Fig.2 Principales procesos de interacción entre las placas que forman la litósfera. Con la letra A se señalan los lugares donde ocurre deslizamiento tangencial en fallas transformadas; con la B, movimiento divergente en centros de dispersión y, con la letra C, convergencia en zonas de subducción. Modificado de Isacks et al, (1968); en Kenett (1982).

en la Figura 2.

Una de las pocas regiones en el mundo donde se puede estudiar con facilidad este tipo de frontera entre placas, se encuentra en ambas californias desde la cabeza del Golfo de California, México, hasta el Cabo Mendocino en el norte de California. Esta región se encuentra afectada por varios sistemas de fallas, entre los que destaca, por su longitud, la Falla San Andrés. Además de este sistema, se presentan otros igualmente importantes y activos. Las dos placas que interactúan en los sistemas de fallas de la región de estudio son la placa de Norteamérica y la placa del Pacífico.

La persistente deformación de la corteza provoca que en las fronteras entre las placas se generen grandes fuerzas. La liberación súbita de estas fuerzas en un quiebre del material elástico, da origen a un temblor. El primer modelo mecánico acerca del origen de los temblores, fue propuesto en 1910 por H. F. Reid en base a sus observaciones sobre la relación entre la Falla de San Andrés y el temblor de San Francisco de 1908. Su teoría es conocida como de "rebote elástico" y se basa en la consideración de que la Tierra se comporta como un medio elástico, ésto es, que tiende a recuperar su forma original al ser deformada. Reid explica que cuando una región está sometida a fuerzas tectónicas,

las deformaciones elásticas se van acumulando en las rocas hasta que se supera la resistencia del material y éste se rompe súbitamente a lo largo de un plano. A este fenómeno se le denomina fallamiento y a su resultado (usualmente visible en la superficie de la Tierra después de ocurrido un temblor) se le denomina falla. Dependiendo del tipo de movimiento entre los bloques de una falla, esta puede ser normal, inversa o de rumbo (Fig. 3). En el caso de ser un falla normal, los esfuerzos asociados son de tensión, en las de tipo inverso son de compresión y en las de rumbo o transcurrentes los esfuerzos son cortantes. Cuando los esfuerzos que actúan sobre el terreno son una combinación de esfuerzos de tensión o compresión con esfuerzos de corte, el terreno puede fallar en una forma mixta y el movimiento de los bloques forma una combinación de los dos mecanismos involucrados.

Mediante la ruptura, el medio llega a un nuevo estado de equilibrio, donde la energía elástica acumulada se ha reducido debido a la energía disipada en parte como trabajo mecánico en el desplazamiento de las paredes de la falla, en forma de ondas sísmicas y en forma de calor. Este modelo del origen de los terremotos está fundamentalmente aún vigente.

Las ondas sísmicas que se originan en un temblor se

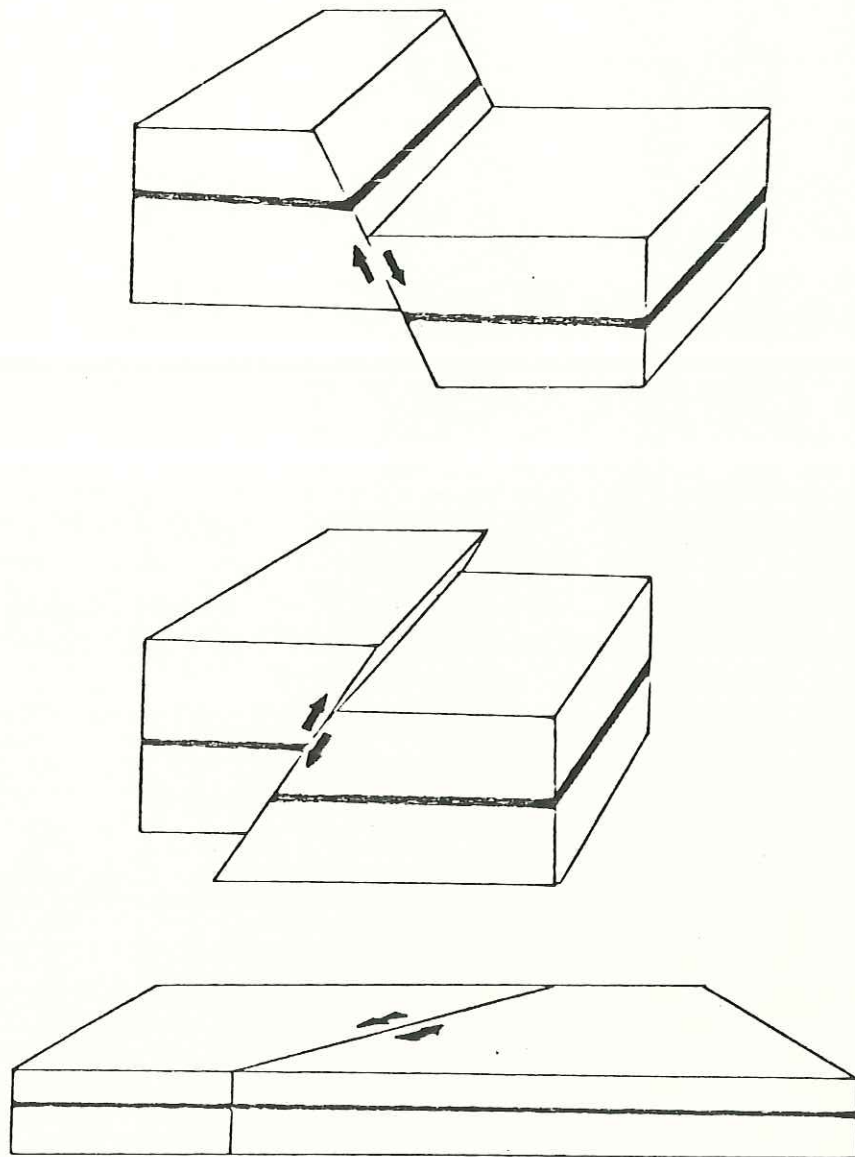


Fig.2 Falla normal (arriba), Falla inversa (centro) y Falla transcurrente o de rumbo (abajo).

presentan básicamente como un agrupamiento de ondas compresionales, ondas de cizalla, ondas reflejadas, refractadas y convertidas en discontinuidades internas del subsuelo y, ondas superficiales, viajando a diferentes velocidades y siguiendo diferentes recorridos a través del interior de la Tierra. Dentro de este conjunto, se encuentran las ondas compresionales y las ondas de cizalla.

Las ondas compresionales u ondas P se propagan en forma de compresiones y dilataciones longitudinales del medio y viajan en la dirección de propagación de la onda. Es la onda sísmica más rápida y por lo tanto, la primera en ser registrada en los sismogramas. Además del primer arribo de onda P, los arribos posteriores del mismo tipo se deben a ondas que han seguido recorridos más largos a través de reflexión o refracción en discontinuidades.

Las ondas de cizalla u ondas S se caracterizan porque las partículas del medio vibran perpendicularmente al sentido en el cual se propaga la onda. En una amplia gama de rocas propias de la corteza terrestre, su velocidad es aproximadamente igual a la velocidad de la onda P, dividida entre $\sqrt{3}$. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la onda P. Al punto desde donde parten las ondas sísmicas en el interior de la Tierra se le denomina foco sísmico o hipocentro y a la proyección de hipocentro sobre la

superficie, epicentro.

Si el movimiento del terreno es originado por una compresión, la componente vertical del movimiento de la primera onda P es hacia arriba y la horizontal hacia la dirección del desplazamiento de la onda. En el caso de una dilatación, el movimiento de la componente vertical es hacia abajo y el horizontal hacia el epicentro. Este comportamiento define la polaridad del primer arribo de onda P y permite tener una idea de la localización del epicentro, es decir, calcular su azimut con respecto al punto que percibe el movimiento. Para ello, se utiliza el valor de las amplitudes relativas de los desplazamientos horizontales del movimiento. La distancia se puede calcular usando el intervalo entre los primeros arribos de onda P y S.

Una técnica más refinada para localizar el epicentro, es la descrita por Geiger en 1912 (en: Lee y Lahr, 1975) y utiliza los tiempos del primer arribo de la onda P de un grupo de sismogramas obtenidos en las estaciones sismológicas cercanas. En términos generales, el método consiste en resolver un sistema de ecuaciones no-líneales, con el que se describe matemáticamente el problema, usando un esquema de mínimos cuadrados (Sección II.1). Esto requiere establecer un modelo adecuado de corteza a través del cual se propagan las ondas sísmicas.

Una vez calculadas las coordenadas del foco sísmico (tiempo de origen, latitud, longitud y profundidad), el problema de obtener el mecanismo focal de un sismo consiste en calcular los parámetros geométricos del plano de falla (rumbo y echado). El cálculo de estos parámetros se puede realizar a partir de observaciones de los desplazamientos elásticos producidos por un sismo. Para ello, se pueden utilizar tanto las medidas geodésicas antes y después de ocurrido el sismo, como la información contenida en los sismogramas. El método más sencillo para determinar el mecanismo focal es el que utiliza las observaciones de la polarización del primer impulso de la onda P y se describe en la Sección II.2.

I.3. - Area de estudio.

La región de estudio (Fig. 4) está limitada al norte por la latitud $33^{\circ} 00'$ N; al oeste, por la longitud $118^{\circ} 00'$; al este, por el Golfo de California y el Valle Mexicali-Imperial (longitud $114^{\circ} 00'$ W) y al sur por la latitud $31^{\circ} 00'$ N. Las provincias fisiográficas que se encuentran dentro de la región son el Borde Continental del Océano Pacífico, las Cordilleras Peninsulares, la Cuenca de Salton y el extremo norte del Golfo de California. Hacia el norte, fuera del área de estudio, se encuentran las

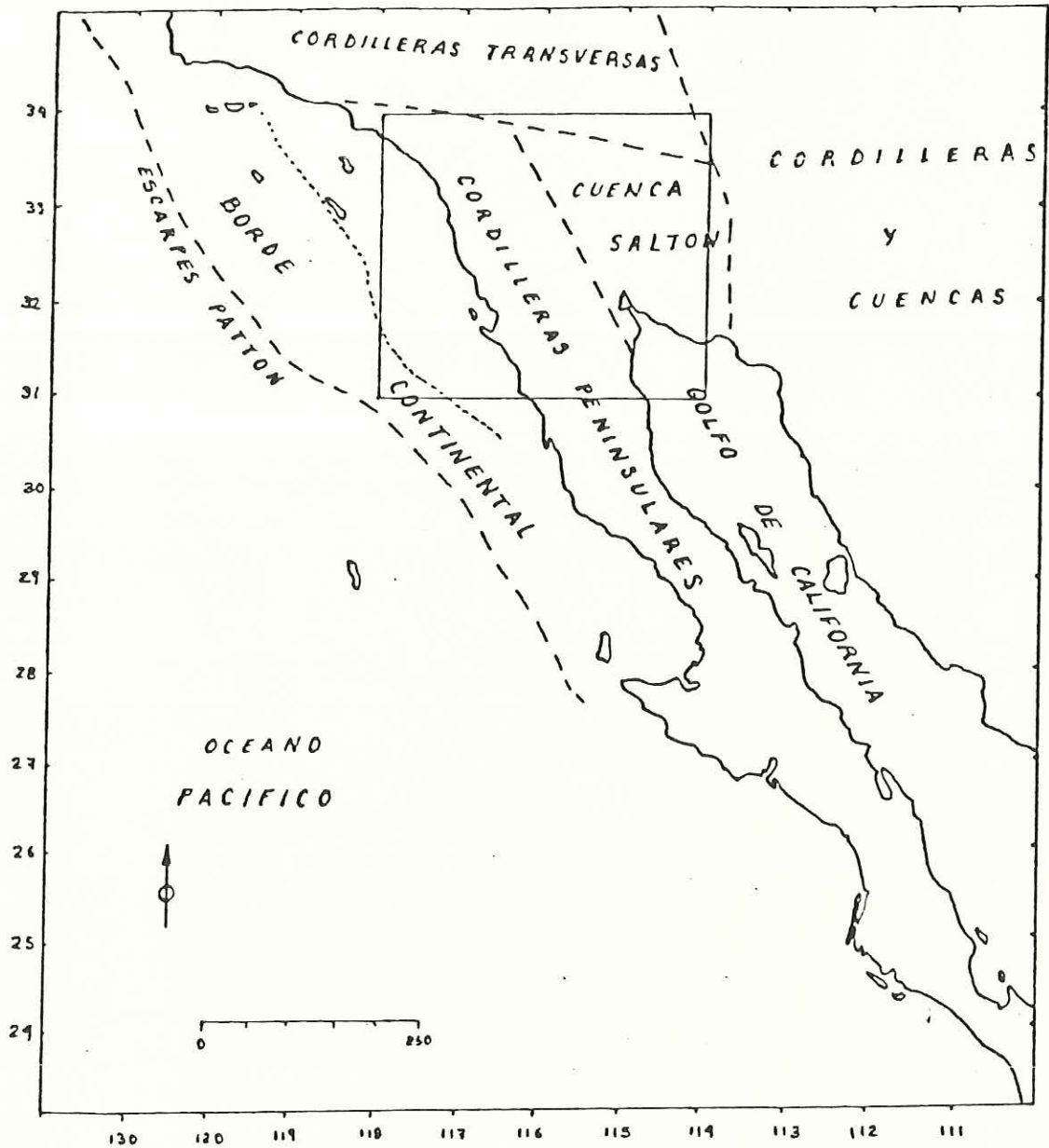


Fig.4 Area de estudio y provincias fisiográficas (recuadro interior).

Cordilleras Transversas (Fig. 4) las cuales son importantes en la interpretación de la sismicidad regional. Cada una de estas provincias se encuentra afectada por diversos sistemas de fallas (Fig. 5) que, en conjunto, definen la frontera entre las placas del Pacífico y de Norteamérica.

Se define como Borde Continental a la región morfológica que representa la plataforma continental por debajo del nivel medio del mar. Sus características fisiográficas y estructurales primarias consisten en una serie de elevaciones, islas y depresiones que se alínean en una tendencia hacia el noroeste, paralelas a la línea de la costa. La provincia está afectada por dos sistemas de fallas de rumbo, orientados hacia el noroeste: la Falla de San Clemente y las Fallas San Diego Trough y Coronado Banks (Legg et al, 1986).

La provincia de las Cordilleras Peninsulares está formada por las cadenas montañosas que corren a lo largo de la Península de Baja California y del sur de California. Está constituida principalmente por rocas ígneas intrusivas y rocas volcánicas. Las cuatro fallas principales que presenta son la Falla San Miguel-Vallecitos, la de Sierra Juárez, la de San Pedro Mártir y la de Agua Blanca (Gastil et al, 1975).

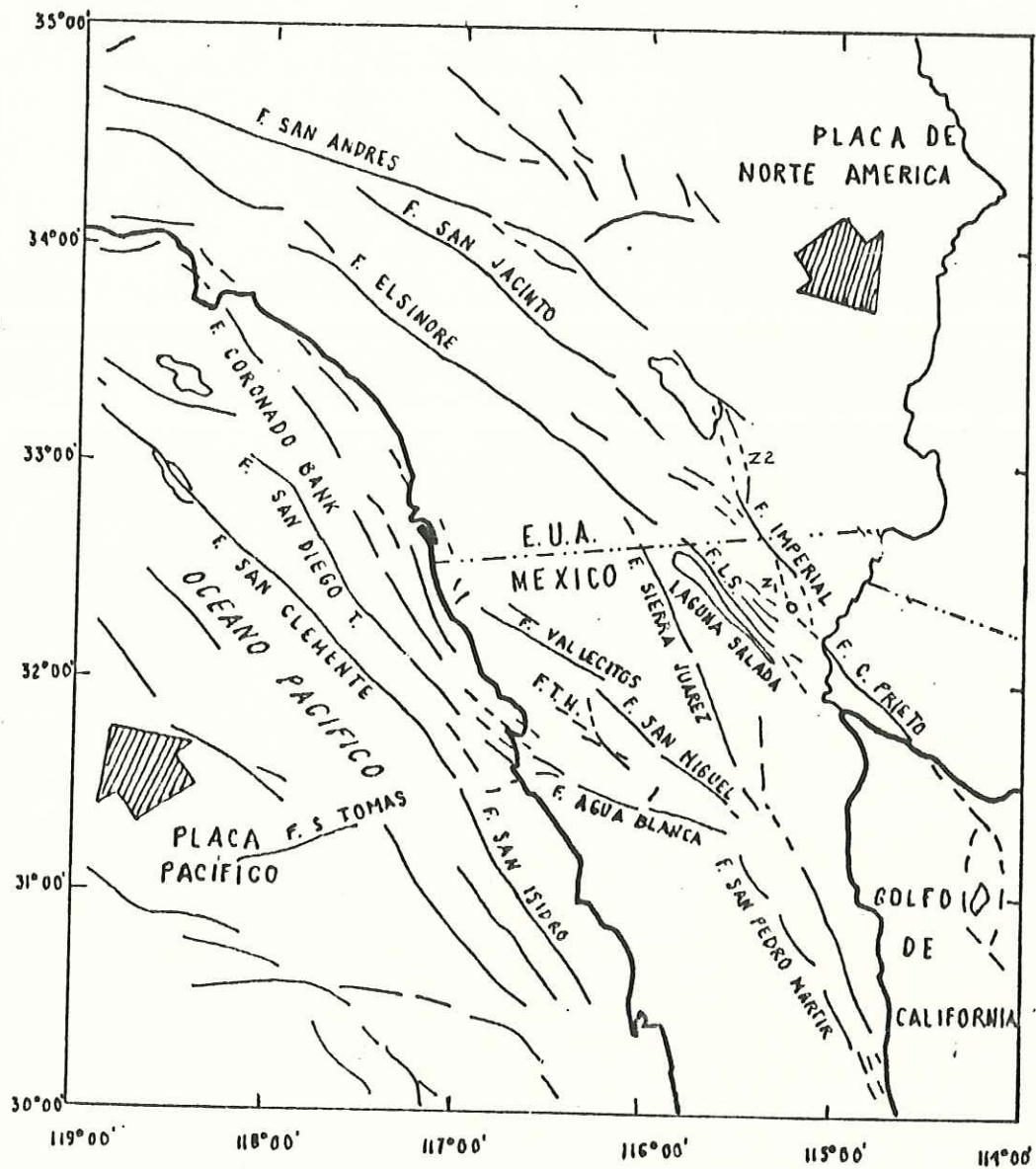


Fig.5 Mapa de los principales sistemas de fallas dentro y alrededor del área de estudio. Adaptado de Frez y González (1989). Las abreviaciones usadas son: Z1, zona sísmica de Mexicali; Z2, zona sísmica de Brawley; FTH, Falla Tres Hermanas; FLS, Falla Laguna Salada.

La Cuenca de Salton es la expresión en la superficie de una gran depresión estructural cubierta por sedimentos que alcanzan hasta 6 km de espesor (Biehler et al., 1964). Incluye las tierras bajas ubicadas desde el Delta del Río Colorado hasta Mexicali, además del Valle Imperial. Está flanqueada por las Cordilleras Peninsulares al oeste y por las montañas Gila, Chocolate y la Sierra del Pinacate por el este. Las fallas más activas que afectan esta provincia son las Fallas Imperial-Cerro Prieto, San Jacinto, Elsinore y Laguna Salada.

Desde el punto de vista sismológico, la región es importante pues permite estudiar de cerca procesos extensionales en la corteza en áreas que presentan alta sismicidad, fuentes hidrotermales y vulcanismo (Elders et al, 1970) en zonas que pueden asociarse a centros de creación de nueva corteza en el continente. A través del estudio de los sismos es posible conocer entre otras cosas la estructura de las zonas sísmicas, el grosor de la corteza en ciertos lugares particulares o los mecanismos de fallamiento que predominan en la región. Por otro lado, la existencia de zonas geotérmicas y la posible existencia de hidrocarburos en la Cuenca de Salton han propiciado el desarrollo de la exploración geofísica a través de prospecciones sísmicas y eléctricas por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y Petróleos

Mexicanos (PEMEX).

I.4. - Antecedentes.

La región de estudio ha sido objeto de estudios geológicos y geofísicos (principalmente durante la última década) tanto por instituciones nacionales como la Comisión Federal de Electricidad, el Instituto de Geofísica de la Universidad Autónoma de México y el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) por la parte mexicana, como por instituciones extranjeras como el Instituto Tecnológico de California (CalTech), el United States Geological Survey (USGS) y el Departamento de Energía del gobierno estadounidense.

Uno de los avances más importantes para el estudio de la sismicidad y las características tectónicas de la región ha sido el establecimiento de un programa de monitoreo permanente a través de la instalación de redes sísmicas locales y regionales. La Red de Estaciones del Sur de California, operada conjuntamente por USGS y CalTech, cuenta con 241 estaciones (Hill et al, 1975: Johnson, 1979: Norris et al, 1989: en Frez y González, 1989). En México, un arreglo experimental estuvo operando entre 1969 y 1978 con

el fin de estudiar la sismicidad y la tectónica del Golfo de California y las áreas adyacentes. (Lomnitz et al, 1970 Brune et al, 1976). Con la instalación en 1977 de una nueva red de estaciones sísmicas (Medina y Duarte, 1979), comienza a operar en Diciembre de 1978 la Red de Estaciones Sismológicas del Norte de Baja California (RESNOR). Esta red opera actualmente con nueve estaciones que registran las tres componentes de movimiento. Se ha contado también con estaciones temporales instaladas durante proyectos especiales.

Entre los trabajos más importantes para un conocimiento completo de la geología estructural de la región, el lector puede referirse al realizado por Gastil et al, (1975); para una discusión sobre la historia tectónica se puede consultar el trabajo de McKenzie y Parker (1967), McKenzie y Morgan (1969) y Atwater (1970) y sobre la relación entre la sismicidad y la estructura geológica del sur de California y norte de Baja California, en el trabajo de Allen et al, (1965), Brune et al, (1976), Doser y Kanamori, (1986) y de Frez y González (1986).

I.4.1 - Marco Tectónico.

Los principales rasgos fisiográficos del norte de Baja

California y el sur de California muestran los papeles que esta región ha jugado como parte del límite de las placas Pacífico y Norteamérica. El batolito peninsular está relacionado a un proceso de subducción entre placas ocurrido durante el Mesozoico el cual la placa Farallón se hundió bajo el continente desapareciendo completamente (McKenzie y Morgan, 1969; Atwater, 1970). Aproximadamente en el Oligoceno Tardío y en el Mioceno Temprano cesó la subducción, y las placas del Pacífico y de Norteamérica entraron en interacción. Esto dio origen a un régimen tectónico de tipo tensional (Atwater, 1970) que afectó las provincias de la Cuenca de Salton, del Golfo de California y de las Cuencas y Cordilleras (Gastil et al, 1975).

Hace aproximadamente cinco millones de años, la frontera estructural entre las placas Pacífico y Norteamérica inició un desplazamiento hacia el noroeste con respecto al continente formando el actual Borde Continental y Golfo de California (Atwater, 1970). De este proceso, resultó un sistema de fallas transformadas y centros de dispersión que se extiende desde la boca del Golfo de California hasta las fallas transcurrentes del sistema San Andrés (Lomnitz et al, 1970).

En la parte norte del Golfo de California y en la Cuenca de Salton, existen las evidencias suficientes para

aproximar el patrón tectónico, al de un simple sistema de fallas transformadas conectadas por segmentos de cresta (centros de dispersión) como el indicado en la Fig. 6 (Lomnitz et al, 1970). Este patrón parece ser claro hasta el noreste de la cuenca, donde la mayoría de las fallas transformadas son rectas y terminan repentinamente, sin evidencias geológicas ni sísmicas de continuidad, en regiones que pueden identificarse como centros de dispersión (Elders et al, 1970). El modelo de centros de dispersión (cubiertos por gruesas capas de sedimentos) conectados por las Fallas Cerro Prieto, Imperial, Brewley y San Andrés se justifica mayormente por su correlación con actividad geotérmica y volcánica, además de la existencia de mecanismos focales tensionales para muchos de los sismos que ocurren en las áreas correspondientes a las zonas sísmicas de Mexicali (Fig. 5). En este patrón, el cono volcánico de Cerro Prieto y los campos geotérmicos, así como otras zonas aisladas de elevado flujo de calor en el Valle Imperial han sido interpretadas por Elders et al, (1970) para postular un patrón de dispersión más complicado que el de la Fig. 6.

Aunque el sistema idealizado de fallas transformadas y centros de dispersión de Lomnitz y Elders puede representar una buena aproximación de la estructura de la Cuenca de Salton y parte norte del Golfo de California, este sistema no puede explicar del todo la abundante actividad sísmica al

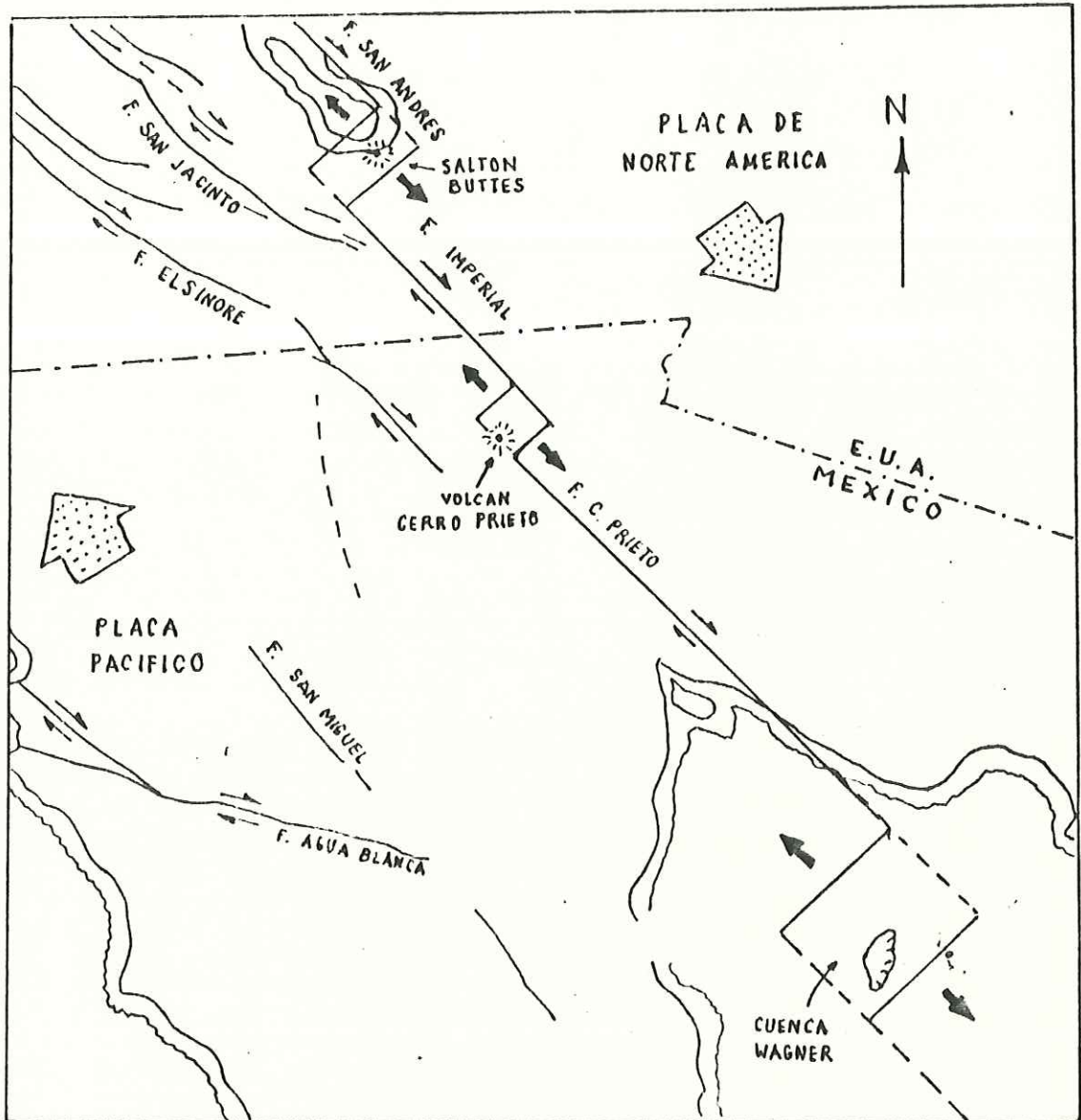


Fig.6 Sistema idealizado de fallas transformadas y centros de dispersión en la región del Delta del Río Colorado y de la Cuenca de Salton. Tomado de Lomnitz et al, (1970).

oeste de la cuenca (Allen et al.; en Lomnitz et al, 1970, Reyes et al, 1975, Soares, 1982, Rebollar y Reichle, 1987) ni las numerosas fallas activas que continúan al noroeste de las fallas transformadas en la cuenca.

I.4.2 - Sismicidad y Mecanismos Focales.

La distribución de la sismicidad (Fig. 7) muestra un patrón bien correlacionado con los sistema de fallas regionales (Frez y González, 1986). Estos autores señalan que la sismicidad asociada a las Fallas San Andrés, San Jacinto y Elsinore parece tener una conección con la actividad en el sistema Cerro Prieto-Imperial, el cual a su vez, se conecta con la sismicidad del Golfo de California. Por otro lado, la sismicidad de las Fallas San Miguel y Laguna Salada-Sierra Juárez aparece como un ramal más al oeste en el patrón descrito.

Al parecer la ausencia de sismicidad sobre la Falla de Agua Blanca indica que la falla no se encuentra activa en el presente. En esta falla solo se ha detectado microsismicidad esporádica (Rebollar, Reyes y Reichle, 1975, González y Suarez, 1984).

El sistema Cerro Prieto-Imperial, corre a lo largo del

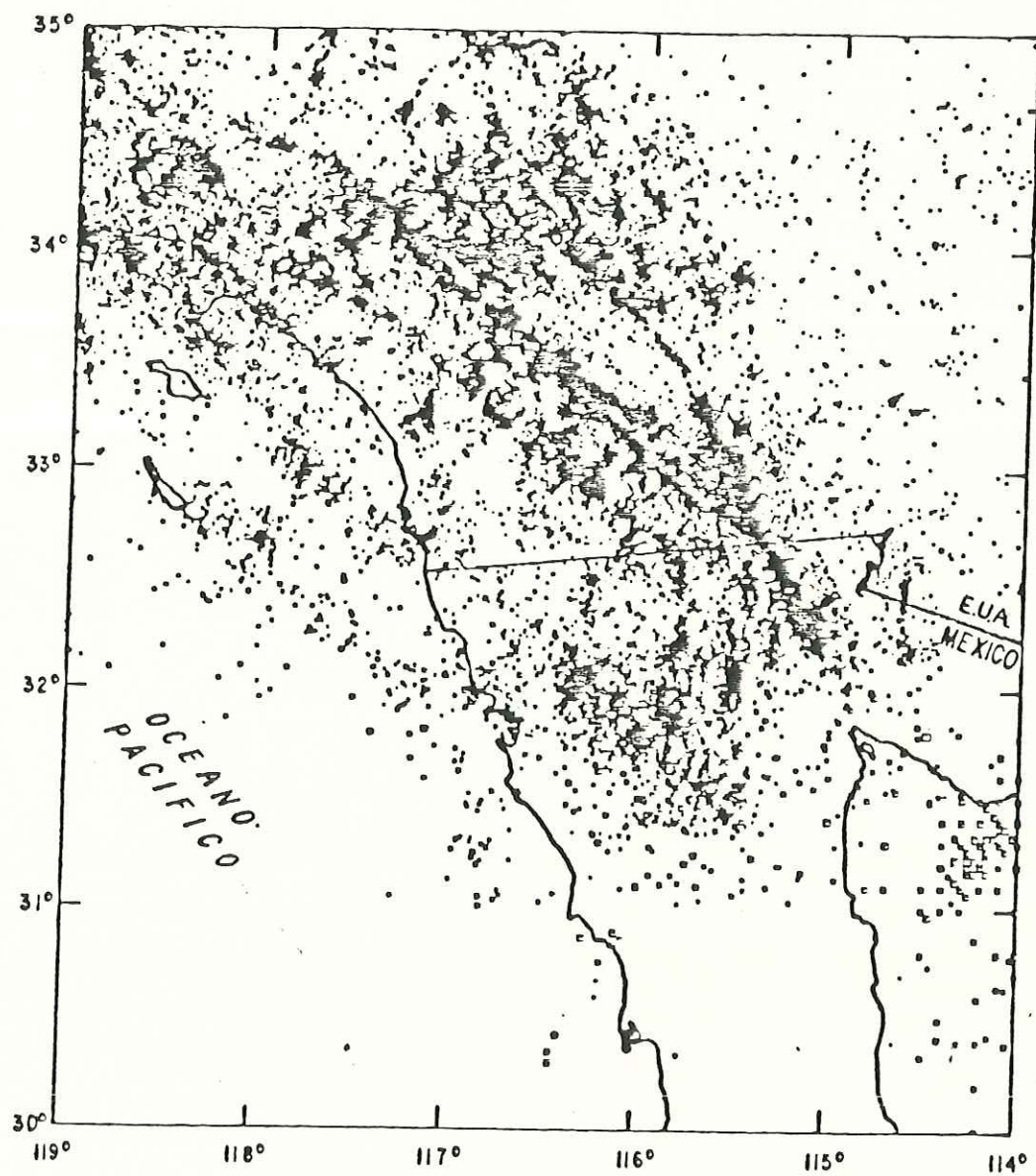


Fig.7 Determinaciones epicentrales para la región de estudio desde 1964 hasta julio de 1988. Basado en el catálogo del USGS-CalTec del sur de California. Tomado de Frez y González (1989).

eje central de la Cuenca de Salton y es la principal conexión entre la tectónica del Golfo de California y la Falla San Andrés. Por lo tanto, constituye la frontera principal entre las placas Pacífico y Norteamérica. Durante el presente siglo, ocho eventos de $M > 6.0$ han sido asociados a las fallas del presente sistema, siendo el mayor de todos de $M = 7.1$ en 1934 (Frez y González, 1989). La continuidad de las Fallas Cerro Prieto-Imperial y el sistema San Jacinto se sugiere debido a la distribución espacial de los sismos de $M > 5.0$ (Fig. 8). Desde 1912, han ocurrido 6 temblores de $M > 6.0$ en el sistema de San Jacinto (Frez y González, 1989).

A partir de la instalación de la red de estaciones del Valle Imperial en 1983, la actividad muestra un alineamiento N-S que conecta el extremo norte de la Falla Cerro Prieto con la Falla Imperial, definiendo así el extremo noroeste de la zona sísmica de Mexicali. De igual forma, la actividad de la Falla Imperial se conecta con la Falla de San Andrés, a través de la zona sísmica de Brawley (Hill et al, 1975 Johnson, 1979, Johnson y Hill , 1982).

El sistema Laguna Salada-Sierra Juárez también presenta alta actividad sísmica (Fig. 7). La Falla Laguna Salada ha tenido un evento de $M = 6.0$ en 1934 y al parecer se le asocia también el ocurrido en 1892 de $M = 6.7$ (Frez y

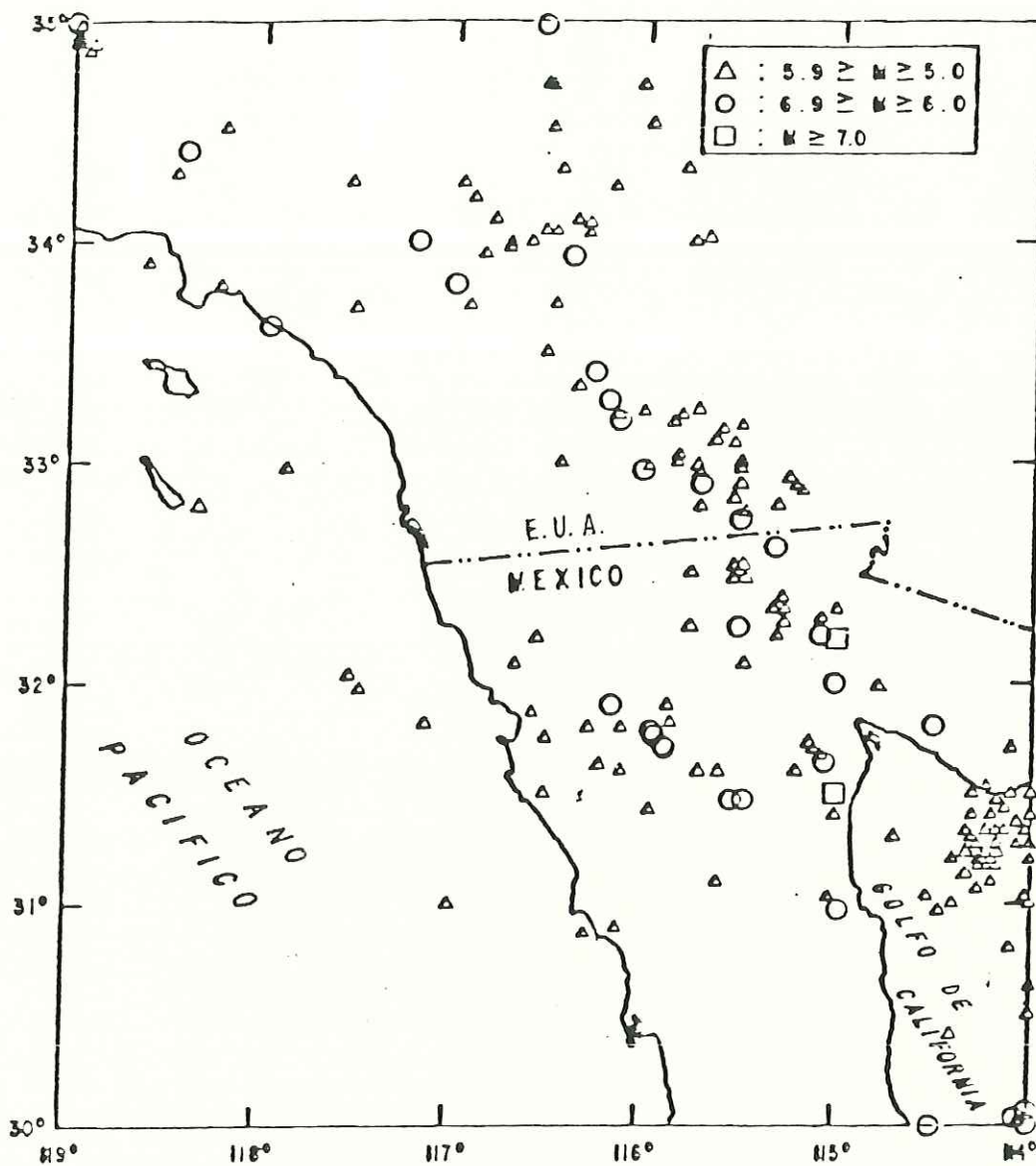


Fig.8 Temblores de magnitud mayor o igual a 5.0 en el norte de Baja California, sur de California y áreas adyacentes, desde 1903 hasta febrero de 1978. Tomado de Frez y González (1989).

González, 1989). La actividad sísmica en el Valle de Mexicali ha estado caracterizada por secuencias de eventos y enjambres de microsismos que duran varias horas y forman secuencias de varios días (González, 1986). Los mecanismos focales determinados en el Valle de Mexicali-Imperial (Hill et al, 1975, Johnson y Hadley, 1976, Boore y Fletcher, 1982, Frez y González, 1989, González, 1986) están de acuerdo con el esquema tectónico planteado para la región en donde las fallas representan la frontera entre las placas Pacífico y Norteamérica. Estos mecanismos de falla han sido principalmente de rumbo y ocasionalmente de tipo normal en las zonas sísmicas. Adicionalmente, se han presentado fallamiento inverso que parece correlacionarse con la sismicidad somera cerca de la frontera entre la capa sedimentaria y el basamento (Frez y González, 1989).

La sismicidad en el sistema de Fallas San Miguel, que comprende tres fallas principales y una ramificación menor (Fig. 5), es bastante notable y particularmente más fuerte hacia el extremo sureste donde han ocurrido 7 temblores $M > 6.0$; uno en 1935 (Darby et al, 1984), dos en 1954 (Leeds, 1979), y cuatro en 1958 (Frez y González, 1989). Los mecanismos focales encontrados en el sistema de San Miguel (Rebollar y Reichle, 1987) muestran movimientos de rumbo lateral-derecho orientados hacia el noroeste.

La sismicidad de la porción interna del Borde Continental presenta dos alineamientos NW-SE cercanos a las ciudades de Ensenada y San Diego y otro, menos claro, SSE paralelo a la línea de costa. La magnitud de esta sismicidad, que ocurre frecuentemente en enjambres, es inferior a 6.0 (Frez y González, 1989). Los mecanismos focales obtenidos en esta provincia (Rebollar et al, 1983, González y Suárez, 1984, Legg et al, 1986: Hauksson y Jones, 1988) indican movimientos de rumbo lateral-derecho e inverso. Además se han presentado eventos de rumbo lateral-izquierdo (Legg et al, 1986).

La actividad sísmica desde 1932 para la región del sur de California y norte de Baja California se encuentra contenida en el catálogo del USGS-Caltech (Nordquist, 1964: Hileman et al, 1973: en Frez y González, 1986). La sismicidad histórica e instrumental del Valle de Mexicali se encuentra resumida en el trabajo de Anderson y Bodin (1987).

I.5. - Objetivos.

El objetivo de la Tesis es calcular los mecanismos focales de sismos de magnitud mayor que 3.5, ocurridos en el norte de Baja California y sur de California desde Junio de 1982 hasta diciembre de 1987.

Los datos que se utilizan provienen de la red de estaciones sísmicas RESNOR que mantiene el CICESE y de la Red del Sur de California que mantiene el U.S. Geological Survey (Fig. 9). Además de las soluciones obtenidas, se agregaron las ya calculadas en diversos trabajos de investigación realizados en el CICESE. Así, se pretende compilar un catálogo de soluciones de mecanismos focales para el norte de Baja California y sur de California y con ello hacer una interpretación tectónica de las diversas fallas de la región.

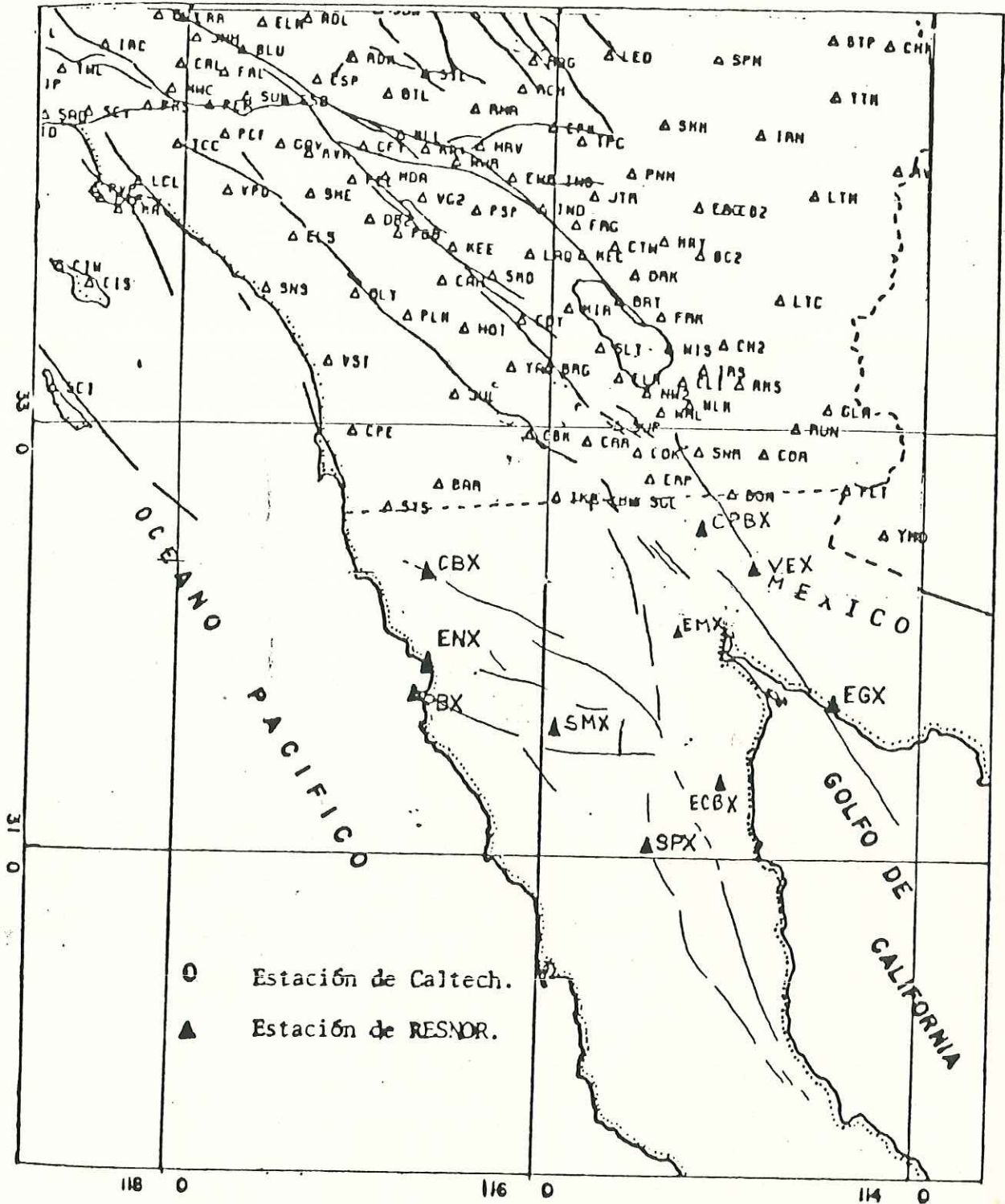


Fig.9 Estaciones sísmicas en el norte de Baja California y sur de California pertenecientes a las redes sísmicas de USGS-CalTec y de RESNOR, en Estados Unidos y México respectivamente.

22

CAPITULO II. METODOLOGIA Y BASE DE DATOS.

II.1. - Determinación Hipocentral.

La localización de un sismo consiste en determinar su tiempo origen, latitud, longitud y profundidad. Esto se logra haciendo uso de los tiempos del primer arribo de las ondas P y S generadas por el temblor. La técnica más común para la localización está basada en el método diseñado por Geiger en 1912 (en Lee y Lahr, 1971) que se describe en la sección II.1.1. Para trabajar con este método, es necesario contar con las coordenadas de las estaciones de la red sísmica (con una precisión de ± 0.1 km si es posible) y con un modelo de velocidades de la corteza.

En general, la corteza de la Tierra tiene una estructura lateralmente heterogénea; sin embargo, el cálculo de recorridos y tiempo de arribo sísmicos en este caso general es, sumamente difícil. Por otro lado, la estructura de la corteza tiende a estratificarse en forma vertical por efecto de la gravedad, por lo que un modelo de velocidades lateralmente homogéneas puede ser adecuado en una primera aproximación. Así, todos los métodos numéricos para determinar hipocentros utilizan medios con solo una dependencia vertical de las propiedades elásticas. Más en

particular, es común que el medio se represente por capas horizontales homogéneas simulando la discretización de las interfaces del subsuelo con la profundidad. En esta Tesis, se utiliza el programa HYP071 (Lee y Lahr, 1971) cuyo algoritmo busca iterativamente la solución del sistema de ecuaciones no-lineales que describen matemáticamente el problema, usando un esquema mínimo-cuadrático modificado para evitar introducir matrices cuasi-singulares. Para ello, el programa ordena las incógnitas y si no hay información suficiente para determinar alguna de ellas, fija su valor (Lee y Stewart, 1981). El diseño del programa permite utilizar en la localización, tanto los tiempos de arribo de las ondas P y S, como el intervalo de arribo entre ambas. Esto último, se usa cuando el tiempo de arribo absoluto del sismograma es incierto, por ejemplo, cuando no se conoce la corrección del reloj interno del sismómetro.

II.1.1. - Método Geiger.

El método Geiger consiste en solucionar un sistema de ecuaciones no-líneales por linearización en series de Taylor. A las ecuaciones linealizadas se les aplica un esquema mínimo-cuadrático.

Sea τ_k un conjunto de tiempos de arribo de onda

observados a estaciones con posiciones (x_k, y_k, z_k) y T_k los tiempos de arribo computados en base a una solución de prueba x^* :

$$x^* = (t_0, x_0, y_0, z_0)$$

Definiendo el vector de residuales como:

$$r_k = \tau_k - T_k(x^*)$$

si éste es pequeño podemos expresarlo como una serie de Taylor hasta los términos lineales en la perturbación de x , y , z y t .

$$r_k = dt_0 + (\partial T_k / \partial x) dx + (\partial T_k / \partial y) dy \\ + (\partial T_k / \partial z) dz + e_k$$

lo cual puede escribirse como un sistema de ecuaciones del tipo:

$$r = A\delta X + e$$

donde δX es el vector de ajuste; r es el vector de residuales, A es la matriz de sensibilidad:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & \partial T_1 / \partial x & \partial T_1 / \partial y & \partial T_1 / \partial z \\ 1 & \partial T_2 / \partial x & \partial T_2 / \partial y & \partial T_2 / \partial z \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & \partial T_k / \partial x & \partial T_k / \partial y & \partial T_k / \partial z \end{vmatrix}$$

y e , representa los términos no lineales, los errores de observación y otros errores de modelado.

En general resultan más ecuaciones que incógnitas. Para resolver el sistema sobredeterminado de ecuaciones, así como la incompatibilidad entre los datos (por el efecto del error), usamos el criterio de mínimos cuadrados; esto es:

$$\text{minimizar } \sum_{k=1}^m (r_k^2)$$

tal que postule la solución:

$$\delta X = (A^T A)^{-1} A^T r$$

$$\delta X = (\delta x, \delta y, \delta z, \delta t)$$

El hipocentro de prueba se convierte entonces en :

$$X^* = (t_0 + \delta t, x_0 + \delta x, y_0 + \delta y, z_0 + \delta z)$$

El método se itera hasta que converge en el caso ideal de que se tenga suficiente información. La convergencia se mide ya sea por la pequeñez de δX por una ganancia demasiado pequeña en la norma del vector de residuales.

El esquema anterior funciona bien cuando hay suficiente información para definir unívocamente los elementos del vector de incógnitas, es decir, cuando se tienen datos tanto alrededor como cercanos a el epicentro (distancias menores que la profundidad del foco sísmico). En caso contrario, alguna de las incógnitas no se puede determinar, lo que se traduce matemáticamente en que la matriz $A^T A$ es singular o cuasi-singular. Hay varios métodos para salir del problema, todos ellos, en el fondo permiten una variación pequeña o dejan sin variar una o más incógnitas, o una combinación entre ellas, con respecto a su valor inicial. En el programa HYPO71 se usa un método de regresión paso-a-paso (en inglés: step-wise regression) que origina que una incógnita que no se puede determinar no introduzca singularidad en la inversión de la matriz $A^T A$. Sobre este tema se deja al lector consultar a Lee y Lahr (1975) o a Draper y Smith (1967), donde puede encontrar la aplicación y el método general, respectivamente.

II.1.2. - Deficiencias del método.

El método de Geiger se basa en la hipótesis de que las capas del subsuelo sean lateralmente homogéneas. En este aspecto, la bondad del modelo se debilita debido a la fuerte heterogeneidad lateral ocasionada por la presencia de grandes contrastes en el espesor sedimentario de la corteza, así como en las propiedades físicas de las rocas. En nuestro caso, por el lado del Borde Continental tenemos una corteza transicional, que va de oceánica a continental, con un espesor del orden de 10 a 20 o 25 km (Corbett, 1984, Frez y González, 1989) mientras que por el otro, contrasta un fuerte engrosamiento debido a la presencia de las Cordilleras Peninsulares cuyas raíces alcanzan profundidades de hasta 42 km (Nava y Brune, 1982). Más hacia el este, tenemos de nuevo un adelgazamiento en la corteza a lo largo de la Cuenca del Golfo y de la Depresión del Salton, donde existen gruesos espesores de sedimentos (Biehler et al, 1964) y donde se sugiere existe un adelgazamiento en la corteza indicado por la presencia de fuertes anomalías magnéticas.

Para ayudar a contrarrestar el efecto de heterogeneidad lateral en los cálculos usamos modelos locales para cada provincia fisiográfica y además, se añaden correcciones en los tiempos de arribo de las estaciones. Por lo regular las

correcciones se hacen en estaciones que se encuentran sobre estructuras muy distintas a la de donde se originó el sismo y que presentan errores sistemáticos en los residuales de tiempo. Estas correcciones de estaciones se calculan con un conjunto de sismos para los cuales existe muy buena información (datos cercanos), promediando los residuales en un cálculo iterativo que parte de correcciones nulas.

Debido a que las estaciones sísmicas se encuentran colocadas en la superficie de la Tierra mientras que los sismos ocurren a profundidad, en general es difícil también determinar la profundidad del foco sísmico. Para una buena determinación de la profundidad, las estaciones se deben encontrar esparcidas a distancias no mayores que la profundidad promedio de los sismos locales (5 a 15 km) (Lee y Lahr, 1976). Esto no se cumple para las estaciones de RESNOR, donde la distancia promedio entre ellas es del orden de 100 km. Un criterio más relajado pide por lo menos una estación a una distancia menor que la profundidad del foco sísmico (Frez, J., comunicación personal). Este criterio no se cumple en la mayoría de los sismos de Baja California. Por lo tanto las determinaciones de profundidad, para casos al sur de la frontera con los Estados Unidos, resultan ser poco precisas, con errores del orden de 5 km.

La existencia de residuales pequeños no necesariamente

implica que la localización es buena. La localización depende de la calidad de los datos de entrada (buena distribución azimutal y distancia), del cumplimiento del modelo matemático (principalmente homogeneidad lateral) y de los valores de las velocidades del modelo estructural. La falta de información puede producir residuales muy bajos en una solución no única. Por otro lado, datos contradictorios o un modelo no adecuado pueden producir residuales altos. El programa HYPO71 tiene otros parámetros que miden la bondad de la solución tales como el ángulo de no-cobertura (GAP), la distancia más corta a una estación, la norma de los residuales de tiempo (RMS, en inglés, Root Mean Square), y los errores estadísticos en profundidad latitud y longitud. Sin embargo, esta estimación de errores está basada en la hipótesis lineal que en nuestro caso no se cumple. En general, esto produce sobreestimación de la precisión y certeza de los resultados y sus valores deben manejarse con cuidado. El programa también da una calificación a la localización que va de la A (óptima) a la C. Para mayor información, el lector puede referirse a Lee y Lahr (1986).

II.2. - Determinación de Mecanismos Focales.

El método más elemental y el más usado para determinar

el mecanismo focal de un sismo, es decir, los valores del azimut y el echado de la falla, es el que utiliza la polaridad del primer arribo de la onda P. Esta polaridad obedece a un determinado patrón de radiación dependiendo del tipo de movimiento entre los bloques de la falla. Tomemos el ejemplo simple de una falla vertical de cizalla y la dividimos en cuatro cuadrantes iguales mediante dos planos, uno de los cuales es el plano de falla. Según el movimiento de las paredes de la falla habrán cuadrantes en donde el material se comprime y otros en donde el material se dilata. El patrón de radiación en este caso se representa en la Figura 10. Para otros tipos de falla (normal o inversa), el patrón de radiación es más complicado. Sin embargo, si se usa el concepto de esfera focal, ésta queda dividida también en cuatro cuadrantes de compresión y dilatación alternante.

El concepto de esfera focal consiste en suponer una esfera de radio unitario y de material homogéneo centrada en el foco de un sismo. Este concepto reduce la posición de los distintos puntos sobre la superficie de la Tierra a puntos equivalentes sobre la superficie de la esfera focal siguiendo la trayectoria del rayo sísmico.

El método para calcular el mecanismo focal consiste en proyectar los datos de polaridad (compresiones o dilataciones) y, en algunos casos, de amplitud de onda P la

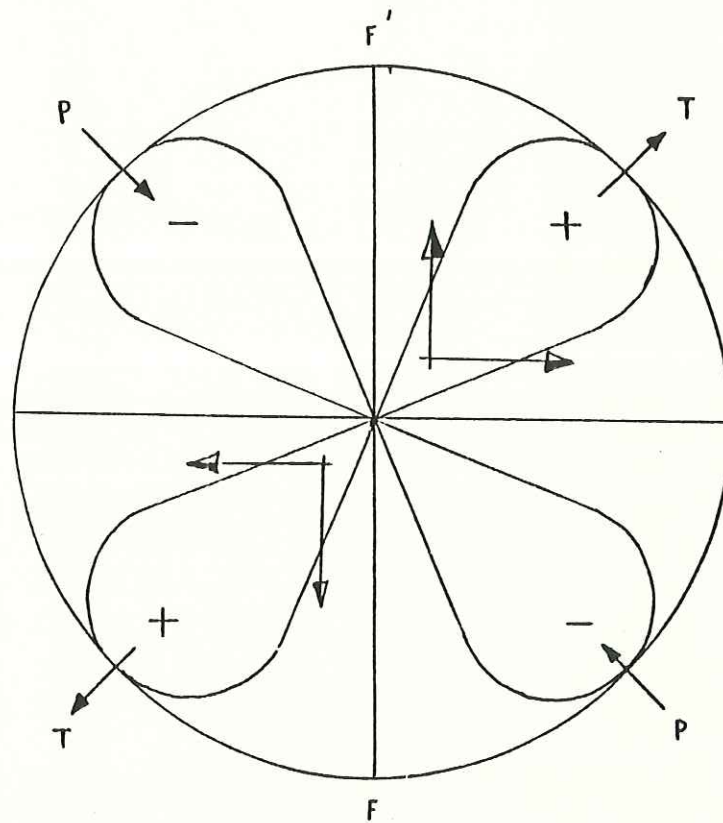


Fig.10 Patrón de radiación de las ondas P para un doble par de fuerzas. El símbolo + indica compresión y el - dilatación. El plano $F-F'$ representa una falla vertical de rumbo vista de planta.

esfera focal y separar los cuatro cuadrantes mediante dos planos ortogonales. Este método no distingue cual de los dos es el plano de falla; al otro plano se le llama plano auxiliar. También es importante la información que se puede obtener de la amplitud del impulso porque según el patrón de radiación de la onda P, la amplitud es máxima en todas direcciones, a 45° de la falla, y cero a lo largo de ella y perpendicularmente. Esto facilita la separación de los cuadrantes cuando no se tiene suficiente información.

Para la obtención del mecanismo focal se utiliza una proyección de la esfera focal sobre el plano ecuatorial (Fig. 11). En esta Tesis, se hace uso de la proyección de igual área o de Schmidt, que presenta frente a otras, la ventaja de que hay una menor deformación del área que se proyecta. Las proyecciones son a partir del hemisferio superior de la esfera focal sobre el plano ecuatorial.

Una vez representadas las observaciones en la proyección, se separan las compresiones y dilataciones por dos planos ortogonales. Esto se realiza dibujando primero uno de los planos y situando su polo, es decir, la intersección en la esfera de la normal al plano. El segundo plano, al ser ortogonal al primero, debe pasar por dicho polo. El método no distingue cual es el plano de falla por lo que nos ayudamos con un mapa de fallas para tratar de

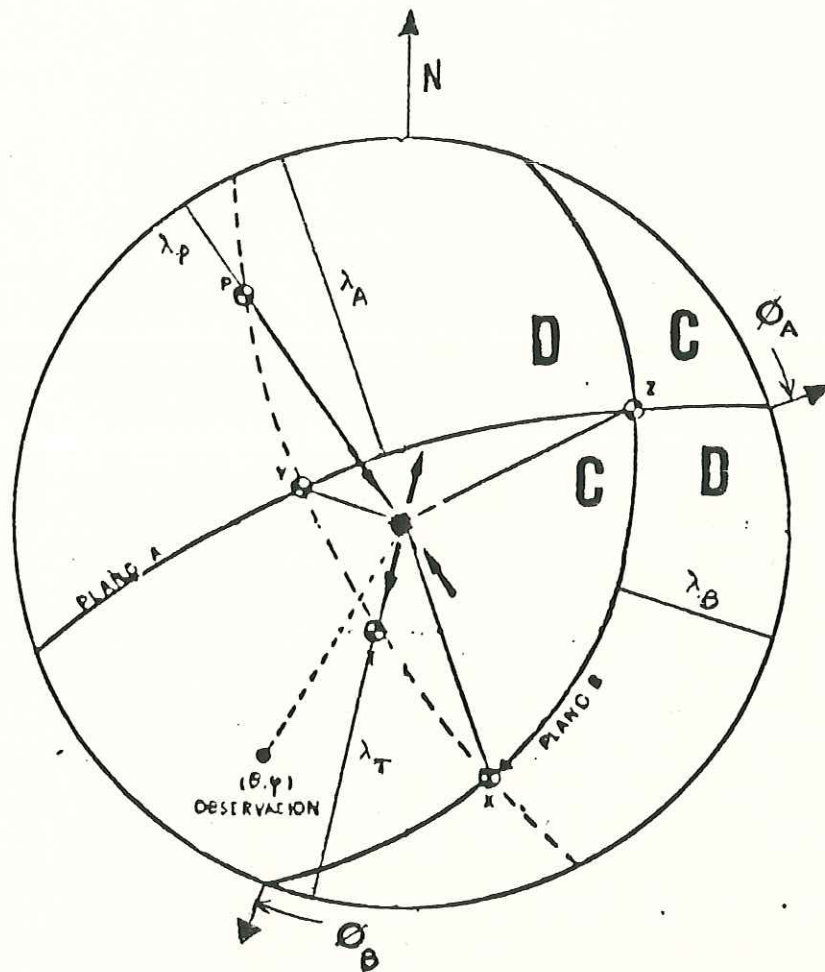


Fig.11 Proyección del mecanismo focal en la cual se han separado las compresiones (C) y las dilataciones (D) por dos planos ortogonales. Los ejes X e Y representan los polos de dichos planos. Los ejes T y P representan la dirección de máximo esfuerzo de tensión y compresión respectivamente. El rumbo de los planos es $\theta_A = 70^\circ$ (plano A), y $\theta_B = 195^\circ$ (plano B). El echado de los ejes y de los planos se indica con la letra λ .

hacer la correlación. En otros casos, la distribución de la sismicidad permite también elegir el plano principal.

Para calcular los ejes de máxima tensión y compresión se utilizan los polos de los planos obtenidos (ejes X e Y en la Figura 11). Se pasa por ellos una circunferencia máxima y sobre ella, a 45° de los ejes X e Y, se sitúan los ejes de máxima tensión T y de compresión P, de forma tal que el eje T quede en el cuadrante de compresiones y el P, en el de dilataciones. Estos ejes corresponden a los lugares donde las amplitudes de la onda P son máximas. El rumbo de la falla viene dado por el ángulo que forma el plano de falla con respecto al norte. Para el caso de la onda S, las amplitudes son máximas a lo largo de los planos nodales (el de falla y el auxiliar) y mínima en los ejes P y T. Una plantilla transparente con los meridianos y paralelos en la proyección hacen el método fácil de aplicar manualmente.

II.3. - Base de Datos.

La información seleccionada para esta Tesis está constituida por datos de tiempo de arribo y polaridad de los sismos de $M > 3.5$ ocurridos dentro de la región y el periodo de estudio. Estos datos se pueden dividir en dos bloques según su origen.

a) Tiempos de arribo y polaridades de ondas P de sismos registrados por la Red Sismológica del Sur de California. Esta información consiste en salidas de computadora, en las que se presenta la localización preliminar, los tiempos de arribo P y S, los residuales de tiempo y los sismogramas (esto último, a partir de enero de 1983).

b) Tiempos de arribo y polaridad de ondas P de sismogramas registrados por la red RESNOR operada por el Departamento de Sismología de la División de Ciencias de la Tierra del CICESE. Esta red está compuesta por un total de hasta nueve estaciones permanentes con el apoyo, en ocasiones, de estaciones temporales. La red se encuentra funcionando desde 1979 siendo sus estaciones: ENX (Ensenada), PBX (Punta Banda), CBX (Cerro Bola), VEX (Veracruz), SPX (San Pedro Mártir), EMX (El Mayor), ECBX (El Chinero), SMX (San Miguel) EGX (El Golfo de Santa Clara) y CPBX (Cerro Prieto) (Fig. 9). Durante el periodo de estudio, las estaciones que funcionan más frecuentemente fueron ENX, PBX, CBX, SPX y CPBX.

La base de datos generados por CICESE para el estudio de los sismos que se tratan en el presente trabajo (periodo 1982-1987) es dividido en dos grupos tomando en cuenta el tipo de registro:

1) Sismogramas analógicos registrados por la red sísmica telemétrica de RESNOR. Con estos datos y a partir de 1979, se inicia la publicación del boletín "Determinación Preliminar de Epicentros" ^{de} norte de Baja California que es de donde se obtienen los tiempos de arribo y la polaridad de la onda P.

2) Datos de tiempos de arribo y polaridad provenientes de sismogramas digitales generalmente conteniendo las tres componentes de movimiento. La grabación de estos datos se hace en cinta magnética. Estos datos y los anteriores se utilizaron para confirmar la convención de la polaridad en las estaciones RESNOR y para observar las amplitudes en el primer arribo de onda P.

La polaridad y la amplitud son confirmadas visualmente del registro (digital y/o analógico) en todos los casos en los que la lectura es crítica para establecer los planos nodales en la solución.

Además de las fuentes de datos mencionados anteriormente, se han utilizado, para los sismos de $M > 4.8$, datos de polaridad de estaciones telesísmicas recopilados por el USGS en el Reporte de Datos Sísmicos y, datos de polaridad y tiempo de arribo de redes locales colocadas por CISECE para estudios especiales (Rebollar y Reichle, 1987.

González y Munguía, 1986).

II.3.1. - Corrección de la Polaridad de Onda P para las Estaciones RESNOR.

Previo al cálculo de los mecanismos focales, se realizó una revisión de la polaridad que implícitamente se reporta en los boletines para las estaciones operadas por RESNOR durante el período de estudio. Para cumplir este objetivo se acepta la convención internacional que establece que, en los sismogramas vertical y horizontales NS y EW, la parte superior del sismograma indica arriba, norte y este, y abajo, sur y oeste, respectivamente. Esta convención no se respeta y, peor aún, a veces no se sabe cuál es la que está implícita en el reporte de los datos de una estación.

Una vez dada la convención y los tres sismogramas correspondientes a las tres componentes del movimiento del desplazamiento sísmico, se puede determinar el azimuth del epicentro con respecto a la posición de la estación. Para ello, se usa el resultado de que una compresión implica un movimiento hacia la estación y una dilatación, un movimiento hacia el epicentro. Para ésto, también se toma en cuenta el valor de las amplitudes del primer arribo de la onda P. Los ejemplos de la Figura 12 son ilustrativos.













| | | | | |
|-----|---|---|---|---|
| V |  |  |  |  |
| N-S |  |  |  |  |
| E-W |  |  |  |  |
| | Dilatación que viene del SE | Dilatación que viene del NW | Compresión que viene del NW | Compresión que viene del SE |

Fig.12 Convención en la polaridad de las tres componentes de movimiento en el sismograma (vertical, N-S y E-W) con respecto a la posición del epicentro.

Si se toma un grupo de sismos con epicentros conocidos y se observan sus tres componentes de movimiento, se puede comprobar si el azimut determinado por medio del análisis anterior es el correcto o si es contradictorio en alguna componente. Esto se hizo en un total de 45 casos en los que se contó con lecturas claras de polaridad para las tres componentes del movimiento. Esta característica de bondad en los datos sólo se presentó en cantidad suficiente en las estaciones ENX, PBX y CBX. Para el resto de las estaciones, el número de datos en este análisis es reducido porque las estaciones no funcionaron o sus registros se perdieron. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla I.

Además de esta prueba, se aplicó un segundo método que consistió en utilizar los mecanismos focales de los eventos que presentaron mejor calidad en la solución gracias a los datos del USGS/CalTech y que, además, contenían datos de las estaciones RESNOR. En estos casos, las soluciones cuentan con lecturas suficientes como para establecer con seguridad los dos planos sin hacer necesario el uso de las lecturas dadas por RESNOR. En la solución se verifica si la polaridad leída en la estación está de acuerdo con el tipo de solución planteado. En base a las observaciones hechas, se generó la Tabla II de resultados en la polaridad.

Para el cálculo de los mecanismos focales se utilizó un

TABLA I

Resultados de la determinación de la polaridad en las estaciones RESNOR durante 1982-1987. 1) estación correcta o invertida en las 3 componentes. 2) componente vertical invertida. 3) componente EW invertida. 4) componente NS invertida. Los puntos indican resultados claros y los círculos, resultados dudosos. No hay información del periodo entre noviembre de 1984 y junio de 1986.

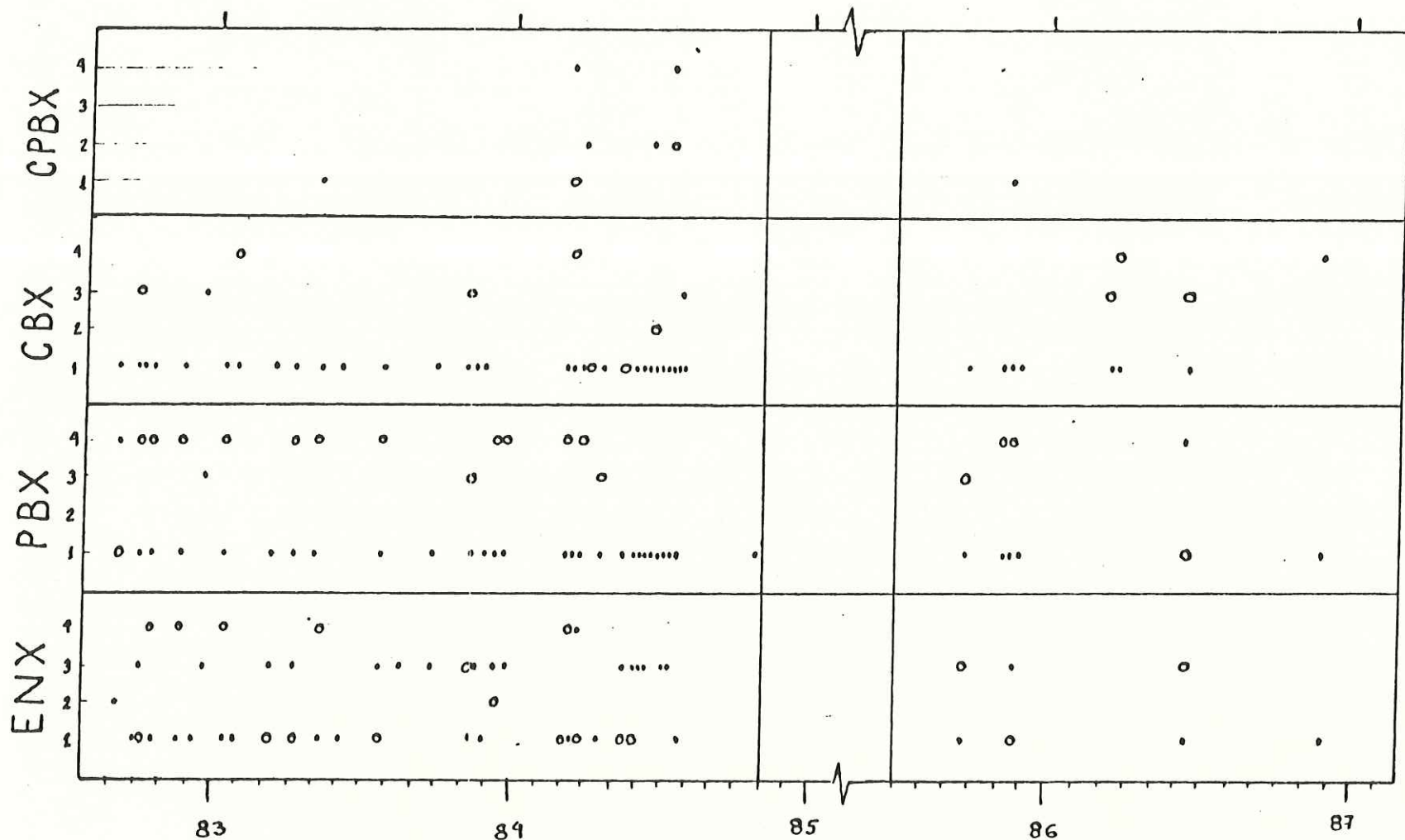


TABLA II

Resultados del análisis de polaridad en las estaciones RESNOR en base al estudio de los mecanismos focales. El comportamiento correcto de una estación se indica con un OK. Si se presenta con la polaridad invertida en la solución, se indica con un *. El parentesis significa que el resultado es dudoso.

| FECHA HORA | ENX | CBX | PBX | CPX | ECX | EMX | VEX | SPX | EGX |
|-------------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|
| 820106 0424 | (OK) | | | | | | | | |
| 820322 0854 | OK | * | | | | | * | * | |
| 820329 2008 | OK | | | | | | | | |
| 820525 1245 | OK | * | * | | | | | | |
| 820526 1158 | OK | * | (OK) | | | | | * | |
| 820610 0807 | OK | * | * | | | | | | |
| 830811 1648 | * | | * | | | | | | |
| 830818 2117 | * | * | * | | | | | (*) | |
| 830911 1927 | * | * | * | | | | | | |
| 830921 0834 | (*) | (*) | (*) | | | | | | |
| 830930 1224 | * | | * | | | | | | |
| 831129 1102 | * | * | * | | | | | * | |
| 831220 0116 | * | * | * | | | | | | |
| 840410 2114 | OK | (*) | OK | (*) | | (*) | | (OK) | |
| 840413 0328 | * | * | * | * | * | OK | * | * | |
| 840423 1431 | (*) | OK | | (OK) | | OK | | * | |
| 840503 0123 | * | * | * | (*) | * | OK | | * | |
| 840514 2306 | * | * | * | * | * | OK | | * | |
| 840515 1711 | (*) | * | * | * | * | | | * | |
| 840531 0514 | * | * | * | (*) | | (*) | | * | (OK) |
| 840624 1208 | * | * | * | * | * | | | * | OK |
| 841006 1648 | * | * | * | * | * | | | * | |
| 841010 2122 | (*) | * | OK | OK | | | | | |
| 850203 1748 | * | * | * | * | | | | | |
| 850320 0353 | * | * | * | (*) | (OK) | OK | | | |
| 850329 0246 | * | * | * | * | | OK | | | |
| 850312 1741 | (*) | (*) | (*) | (OK) | | | | | |
| 850508 0920 | (*) | (OK) | * | (OK) | | | * | | |
| 850509 0323 | * | * | * | OK | | | * | | |
| 850603 0653 | (*) | (*) | (*) | * | | | | | |
| 850609 0050 | * | * | * | * | | OK | * | | |
| 850616 1026 | (*) | (*) | (*) | * | | | | | |
| 850618 0013 | * | * | * | OK | | OK | | | |
| 850926 0253 | * | * | * | * | | | | | |
| 851119 1243 | * | * | * | * | | | | | |
| 860207 0009 | * | OK | * | * | | | | | |
| 860217 1058 | * | OK | * | * | | | | | |
| 860228 1528 | * | OK | * | * | | | | * | |
| 860511 1731 | * | OK | * | * | | | | (*) | |
| 860629 1500 | * | OK | * | * | | | | | |
| 860713 1411 | (*) | OK | (*) | * | | | | | |
| 860730 2251 | * | OK | (*) | * | | | | | |
| 860930 0952 | (*) | (OK) | (*) | * | | | | | |
| 861001 2012 | (*) | (OK) | (*) | (OK) | (*) | | | | |
| 861017 0028 | * | OK | * | OK | * | | * | * | |
| 861029 0238 | * | OK | * | * | (OK) | | * | (OK) | OK |
| 870124 1406 | * | OK | * | * | | | | | |
| 870207 0959 | * | OK | (*) | * | | | | (*) | |
| 870209 0338 | (*) | (*) | (*) | * | | | | | |
| 870410 0823 | (*) | (OK) | * | * | | | | | |
| 870607 0915 | (*) | OK | (*) | * | | | | | |
| 870621 0856 | (OK) | OK | (OK) | * | | | | | |
| 871124 0132 | (*) | * | (*) | * | | | | | |
| 871124 1315 | (*) | * | (*) | * | | | | | |

modelo de corteza intermedio entre el de Nava y Brune (1982), que corresponde a la Cordillera Peninsular, y el de González (1986), que corresponde al Valle de Mexicali. Este modelo fue utilizado al mismo tiempo, para realizar una determinación preliminar de los sismos que son trabajados en esta Tesis y de la cual se hace una descripción más detallada en la sección siguiente. Se comprobó que el modelo estructural utilizado es adecuado para estos fines ya que los mecanismos focales no divergen mucho de los obtenidos al final de este trabajo.

Los dos métodos de análisis anteriores estuvieron sujetos a limitaciones tales como la pérdida de información (por ejm., durante el primer semestre de 1986), falta de estaciones durante algunos periodos y, a cambios en la instrumentación durante periodos de tiempo. Esto último se logró tomar en cuenta gracias a la revisión de la bitácora de cambios en las estaciones proporcionada por los técnicos de RESNOR. Así, en base a los resultados obtenidos se elaboró la siguiente convención en la polaridad:

ENX invertida (06/82 - 12/87)

PBX invertida (01/82 - 12/87)

CBX invertida (01/82 - 12/85), correcta (01/86 - 12/87)

modelo de corteza intermedio entre el de Nava y Brune (1982), que corresponde a la Cordillera Peninsular, y el de González (1986), que corresponde al Valle de Mexicali. Este modelo fue utilizado al mismo tiempo, para realizar una determinación preliminar de los sismos que son trabajados en esta Tesis y de la cual se hace una descripción más detallada en la sección siguiente. Se comprobó que el modelo estructural utilizado es adecuado para estos fines ya que los mecanismos focales no divergen mucho de los obtenidos al final de este trabajo.

Los dos métodos de análisis anteriores estuvieron sujetos a limitaciones tales como la pérdida de información (por ejm., durante el primer semestre de 1986), falta de estaciones durante algunos periodos y, a cambios en la instrumentación durante periodos de tiempo. Esto último se logró tomar en cuenta gracias a la revisión de la bitácora de cambios en las estaciones proporcionada por los técnicos de RESNOR. Así, en base a los resultados obtenidos se elaboró la siguiente convención en la polaridad:

ENX invertida (06/82 - 12/87)

PBX invertida (01/82 - 12/87)

CBX invertida (01/82 - 12/85), correcta (01/86 - 12/87)

CPBX invertida (01/82 - 06/84), correcta (06/84 - 12/87)

ECBX invertida (01/82 - 12/87)

EMX correcta (01/82 - 12/87)

VEX invertida (01/82 - 12/87)

SPX invertida (01/82 - 12/87)

EGX correcta (01/82 - 12/87)

Se compararon los resultados obtenidos de los dos métodos anteriores con los obtenidos por revisión directa de la instrumentación (A. Vidal, comunicación personal) y se observó que éstos coinciden con los obtenidos en el presente estudio.

Considerando que la información utilizada para este análisis es casi completa para el periodo de estudio, que los resultados obtenidos y presentados en las tablas son bastante homogéneos y, que éstos coinciden con los resultados obtenidos por A. Vidal, se puede tener confianza en la utilización de la convención establecida anteriormente para interpretar los datos de polaridad de RESNOR.

CAPITULO III. - RESULTADOS.

III.1. - Introducción.

A partir de los catálogos de localizaciones preliminares de sismos proporcionados por el USGS-CalTech, se escogen los eventos que, por presentar $M > 3.5$ y localizarse dentro del área y periodo de estudio, deben ser incluidos en el trabajo de Tesis. Estos sismos son presentados en la Tabla III y es en base a ellos que iniciamos la recopilación de las lecturas de polaridad y tiempo de arribo de las estaciones para cada uno de los casos a estudiar. En esta Tesis se incluyen además 52 eventos con $M < 3.5$ que por contener datos suficientes para su estudio y localizarse en áreas hasta ahora poco estudiadas, contribuyen a mejorar el catálogo, estos casos también se incluyen en la Tabla III.

Los eventos señalados con el número 1 en la Tabla III no se pudieron trabajar porque o los datos correspondientes no han sido procesados en CalTech (por ejemplo, el periodo entre febrero y julio de 1983) o porque la documentación de la determinación epicentral no se encuentra en el archivo del USGS-CalTech (por ejemplo, el sismo de noviembre 24, 13:34 Hrs., de 1987, $M = 4.8$). Los eventos señalados con el

TABLA III

Lista de eventos sismicos que entraron en este proyecto de Tesis.
 S=1:no hay datos: S=2:no estudiado: S=3:pocos datos: S=*:estudiado

| FECHA | HR | MN | SEG | LATITUD | LONGITUD | MAG | S | |
|-------|----|----|-------|---------|--------------|-------|-----|---|
| 1981 | 11 | 07 | 21 50 | 30.05 | 32 38.09-118 | 0.85 | 5.0 | * |
| 1982 | 1 | 6 | 4 24 | 5.83 | 31 29.87-115 | 45.45 | 3.9 | * |
| 1982 | 1 | 28 | 1 44 | 13.97 | 32 33.84-119 | 12.60 | 3.4 | * |
| 1982 | 3 | 22 | 8 53 | 28.43 | 33 3.39-116 | 11.22 | 4.5 | * |
| 1982 | 3 | 29 | 20 8 | 25.09 | 32 59.36-115 | 53.10 | 3.6 | * |
| 1982 | 3 | 29 | 20 8 | 26.71 | 32 58.78-115 | 53.25 | 3.5 | 2 |
| 1982 | 5 | 25 | 12 45 | 27.95 | 31 24.49-115 | 42.02 | 4.1 | * |
| 1982 | 5 | 25 | 13 44 | 30.30 | 33 33.00-118 | 12.16 | 4.1 | * |
| 1982 | 5 | 26 | 11.58 | 37.00 | 31 59.65-116 | 18.60 | 2.9 | * |
| 1982 | 5 | 28 | 13 3 | 0.09 | 31 42.51-115 | 47.90 | 4.1 | * |
| 1982 | 6 | 10 | 08 06 | 01.57 | 32 36.74-115 | 38.72 | 3.0 | * |
| 1982 | 8 | 10 | 18 37 | 3.99 | 32 55.63-115 | 32.44 | 3.7 | * |
| 1982 | 9 | 5 | 5 21 | 26.48 | 32 56.34-115 | 50.51 | 4.4 | * |
| 1982 | 12 | 10 | 0 37 | 47.76 | 31 27.21-115 | 57.79 | 3.6 | * |
| 1982 | 12 | 13 | 16 0 | 57.82 | 31 23.96-115 | 33.60 | 3.6 | 3 |
| 1982 | 12 | 14 | 17 15 | 3.78 | 31 22.97-115 | 30.86 | 3.8 | * |
| 1982 | 12 | 15 | 5 53 | 3.56 | 31 21.74-115 | 32.02 | 3.6 | * |
| 1982 | 12 | 15 | 15 36 | 17.68 | 31 19.37-115 | 30.25 | 3.6 | 3 |
| 1982 | 12 | 18 | 15 39 | 20.73 | 31 26.20-115 | 26.20 | 3.3 | * |
| 1092 | 12 | 23 | 1 42 | 55.08 | 31 32.77-115 | 26.84 | 3.5 | * |
| 1983 | 1 | 12 | 18 30 | 4.99 | 31 50.39-115 | 45.77 | 4.1 | * |
| 1983 | 1 | 17 | 5 00 | 29.36 | 31 34.17-115 | 27.56 | 3.5 | * |
| 1983 | 4 | 23 | 22 16 | 22.53 | 31 8.25-114 | 57.61 | 4.0 | 1 |
| 1983 | 5 | 21 | 20 41 | 40.88 | 31 41.04-116 | 1.51 | 4.0 | 1 |
| 1983 | 6 | 4 | 3 8 | 29.76 | 32 13.35-114 | 53.13 | 3.5 | 1 |
| 1983 | 6 | 9 | 6 59 | 40.85 | 31 31.44-115 | 35.82 | 3.7 | 1 |
| 1983 | 6 | 10 | 1 27 | 47.88 | 31 27.87-115 | 34.63 | 3.5 | 1 |
| 1983 | 6 | 29 | 8 8 | 36.40 | 32 37.62-117 | 22.64 | 4.6 | 1 |
| 1983 | 7 | 4 | 8 2 | 9.33 | 31 36.82-116 | 4.44 | 3.6 | 1 |
| 1983 | 7 | 13 | 21 16 | 48.25 | 33 11.88-115 | 32.11 | 4.0 | * |
| 1983 | 8 | 11 | 16 48 | 45.62 | 32 4.61-115 | 31.42 | 2.9 | * |
| 1983 | 8 | 18 | 21 17 | 50.03 | 31 33.26-115 | 54.16 | 3.8 | * |
| 1983 | 9 | 11 | 19 27 | 25.04 | 31 57.56-116 | 4.04 | 3.3 | * |
| 1983 | 9 | 20 | 08 | 51.78 | 33 3.30-116 | 12.11 | 3.5 | * |
| 1983 | 9 | 21 | 8 34 | 10.21 | 32 2.36-116 | 19.12 | 3.4 | * |
| 1983 | 9 | 30 | 12 24 | 22.17 | 32 56.31-115 | 49.16 | 3.2 | * |
| 1983 | 11 | 11 | 16 36 | 31.62 | 32 57.99-115 | 40.06 | 3.3 | * |
| 1983 | 11 | 11 | 17 15 | 5.22 | 32 58.07-115 | 52.03 | 3.8 | * |
| 1983 | 11 | 15 | 5 5 | 8.86 | 33 2.98-115 | 32.88 | 3.5 | * |
| 1983 | 11 | 15 | 11 03 | 6.53 | 33 2.44-115 | 33.30 | 3.3 | * |
| 1983 | 11 | 19 | 9 54 | 54.96 | 31 52.41-116 | 13.79 | 3.8 | * |
| 1983 | 11 | 29 | 11 2 | 34.16 | 31 42.03-115 | 51.61 | 3.8 | * |
| 1983 | 12 | 2 | 19 8 | 57.45 | 31 49.94-116 | 2.49 | 3.2 | * |
| 1983 | 12 | 5 | 14 9 | 8.75 | 32 10.60-115 | 49.68 | 3.7 | * |
| 1983 | 12 | 20 | 1 15 | 4.10 | 32 56.54-116 | 17.47 | 3.5 | * |
| 1983 | 2 | 14 | 6 41 | 40.06 | 32 1.76-116 | 13.96 | 3.5 | * |
| 1984 | 2 | 27 | 10 18 | 15.02 | 33 28.26-118 | 3.67 | 4.0 | * |

TABLA III (CONTINUACION)

| FECHA | HR | MN | SEG | LATITUD | LONGITUD | MAG | S | |
|-------|----|----|-------|---------|--------------|-------|-----|---|
| 1984 | 2 | 29 | 2 7 | 31.71 | 33 8.17-116 | 4.26 | 4.3 | * |
| 1984 | 4 | 1 | 7 17 | 2.36 | 33 6.53-116 | 24.26 | 3.9 | * |
| 1984 | 4 | 8 | 19 50 | 37.13 | 32 28.03-115 | 26.43 | 3.4 | * |
| 1984 | 4 | 10 | 21 14 | 55.02 | 32 9.55-115 | 45.55 | 3.4 | * |
| 1984 | 4 | 13 | 3 28 | 35.63 | 32 5.27-115 | 45.90 | 4.1 | * |
| 1984 | 4 | 21 | 6 2 | 47.67 | 31 58.46-116 | 20.79 | 3.9 | * |
| 1984 | 4 | 21 | 11 58 | 24.47 | 32 2.49-116 | 23.54 | 3.8 | 3 |
| 1984 | 4 | 23 | 14 31 | 12.86 | 32 54.44-115 | 32.21 | 3.0 | * |
| 1984 | 4 | 24 | 15 47 | 52.32 | 32 .50-116 | 20.11 | 3.4 | * |
| 1984 | 4 | 25 | 18 19 | 6.42 | 31 37.91-115 | 39.50 | 3.4 | * |
| 1984 | 4 | 26 | 22 44 | 17.32 | 32 45.32-115 | 25.55 | 3.6 | * |
| 1984 | 4 | 29 | 12 19 | 2.55 | 32 58.25-115 | 31.62 | 3.2 | * |
| 1984 | 5 | 9 | 1 23 | 50.48 | 32 13.80-115 | 46.80 | 3.1 | * |
| 1984 | 5 | 14 | 23 6 | 29.99 | 32 24.54-115 | 19.38 | 3.8 | * |
| 1984 | 5 | 15 | 17 11 | 35.65 | 32 25.63-115 | 23.14 | 3.5 | * |
| 1984 | 5 | 31 | 5 14 | 54.29 | 32 11.06-115 | 48.02 | 3.4 | * |
| 1984 | 5 | 31 | 23 30 | 48.64 | 32 20.88-115 | 12.87 | 4.1 | * |
| 1984 | 6 | 4 | 16 58 | 53.67 | 32 1.24-115 | 32.37 | 3.8 | 3 |
| 1984 | 6 | 6 | 5 49 | 33.66 | 31 23.79-115 | 32.27 | 3.9 | 3 |
| 1984 | 6 | 24 | 12 8 | 6.98 | 31 55.36-115 | 47.01 | 4.1 | * |
| 1984 | 7 | 2 | 19 16 | 54.79 | 32 25.96-118 | 3.72 | 3.5 | 3 |
| 1984 | 7 | 9 | 23 6 | 57.26 | 31 42.12-115 | 49.37 | 3.5 | 1 |
| 1984 | 7 | 13 | 3 38 | 51.73 | 31 25.21-115 | 30.19 | 3.8 | 1 |
| 1984 | 8 | 14 | 15 29 | 30.75 | 32 5.26-115 | 43.75 | 3.2 | * |
| 1984 | 9 | 4 | 10 35 | 18.32 | 31 53.97-115 | 48.63 | 3.7 | * |
| 1984 | 9 | 7 | 6 50 | 37.52 | 32 47.88-118 | 8.28 | 3.6 | 1 |
| 1984 | 9 | 7 | 11 3 | 13.38 | 32 56.70-117 | 48.36 | 4.3 | * |
| 1984 | 9 | 30 | 21 16 | 14.11 | 32 29.58-115 | 16.00 | 3.6 | * |
| 1984 | 10 | 6 | 16 47 | 33.40 | 31 37.08-116 | 56.72 | 3.7 | * |
| 1984 | 10 | 10 | 21 22 | 58.86 | 33 8.26-116 | 30.06 | 4.5 | * |
| 1984 | 11 | 7 | 13 2 | 15.33 | 31 54.86-116 | 9.07 | 3.7 | * |
| 1984 | 11 | 7 | 14 22 | 54.26 | 31 56.57-116 | 8.71 | 3.6 | * |
| 1984 | 11 | 7 | 14 23 | 26.78 | 31 56.23-116 | 9.10 | 4.0 | 2 |
| 1984 | 11 | 7 | 14 27 | 38.00 | 31 56.00-116 | 8.79 | 3.7 | * |
| 1984 | 11 | 25 | 5 8 | 50.13 | 33 19.92-118 | 40.04 | 3.8 | * |
| 1984 | 11 | 26 | 2 14 | 59.68 | 32 5.11-116 | 16.78 | 3.6 | * |
| 1984 | 11 | 29 | 15 55 | 40.77 | 31 44.87-116 | 6.17 | 3.6 | * |
| 1984 | 12 | 9 | 8 3 | 9.03 | 31 51.87-116 | 20.52 | 4.3 | * |
| 1984 | 12 | 9 | 18 56 | 25.46 | 32 1.75-116 | 15.53 | 3.9 | * |
| 1985 | 1 | 27 | 15 6 | 57.91 | 31 55.32-116 | 24.32 | 3.4 | * |
| 1985 | 2 | 1 | 14 59 | 18.68 | 32 16.53-115 | 3.68 | 3.0 | * |
| 1985 | 2 | 2 | 3 40 | 1.46 | 31 51.47-116 | .31 | 3.4 | * |
| 1985 | 2 | 3 | 17 48 | 21.14 | 32 35.26-115 | 38.57 | 3.8 | * |
| 1985 | 2 | 4 | 3 9 | 24.50 | 32 21.27-117 | 56.98 | 3.8 | 3 |
| 1985 | 2 | 10 | 19 17 | 54.89 | 31 52.62-116 | 6.11 | 3.5 | 3 |
| 1985 | 3 | 3 | 1 26 | 9.77 | 32 41.39-117 | 56.70 | 3.5 | 3 |
| 1985 | 3 | 12 | 17 41 | 50.36 | 31 51.66-114 | 57.68 | 3.3 | * |

TABLA III (CONTINUACION)

| FECHA | HR | MN | SEG | LATITUD | LONGITUD | MAG | S |
|-------|----|----|-------------|--------------|----------|-----|---|
| 1985 | 3 | 13 | 17 19 26.59 | 33 12.38-116 | 4.18 | 3.1 | * |
| 1985 | 3 | 18 | 7 44 8.90 | 33 59.44-118 | 34.81 | 3.0 | * |
| 1985 | 3 | 20 | 3 53 29.84 | 33 2.85-116 | 24.43 | 3.3 | * |
| 1985 | 3 | 29 | 2 46 52.56 | 32 3.74-116 | 20.66 | 3.3 | * |
| 1985 | 4 | 19 | 3 55 51.80 | 32 10.03-116 | 57.24 | 3.8 | * |
| 1985 | 5 | 8 | 9 20 57.23 | 31 52.85-115 | 49.03 | 3.1 | * |
| 1985 | 5 | 8 | 23 40 20.77 | 31 53.42-115 | 49.26 | 5.0 | * |
| 1985 | 5 | 8 | 23 49 48.71 | 31 44.77-115 | 49.04 | 4.3 | * |
| 1985 | 5 | 9 | 1 24 13.23 | 31 52.98-115 | 50.47 | 3.5 | * |
| 1985 | 5 | 9 | 1 31 37.27 | 31 54.51-115 | 52.13 | 3.6 | 2 |
| 1985 | 5 | 9 | 1 59 9.65 | 31 52.41-115 | 52.30 | 3.8 | * |
| 1985 | 5 | 9 | 3 23 37.78 | 31 53.45-115 | 47.69 | 4.1 | * |
| 1985 | 5 | 9 | 4 49 15.97 | 31 53.14-115 | 50.73 | 3.7 | 3 |
| 1985 | 5 | 10 | 5 39 39.18 | 31 53.20-115 | 47.25 | 4.8 | 1 |
| 1985 | 5 | 10 | 5 41 20.53 | 31 51.79-115 | 45.76 | 3.5 | * |
| 1985 | 5 | 10 | 8 59 14.88 | 31 55.81-115 | 50.95 | 3.7 | 3 |
| 1985 | 5 | 11 | 2 22 42.31 | 31 51.60-115 | 48.42 | 3.6 | * |
| 1985 | 5 | 13 | 7 27 28.76 | 31 52.92-115 | 49.64 | 3.5 | * |
| 1985 | 5 | 14 | 17 35 36.36 | 33 31.37-116 | 48.07 | 3.7 | * |
| 1985 | 5 | 20 | 2 53 55.86 | 31 54.58-115 | 49.79 | 3.9 | * |
| 1985 | 5 | 22 | 10 10 36.73 | 31 53.18-115 | 50.38 | 3.7 | 3 |
| 1985 | 5 | 31 | 11 30 31.35 | 31 52.51-115 | 49.27 | 3.9 | * |
| 1985 | 6 | 3 | 6 53 27.53 | 33 2.41-115 | 58.36 | 3.5 | * |
| 1985 | 6 | 9 | 0 50 32.34 | 31 53.09-115 | 48.03 | 4.5 | * |
| 1985 | 6 | 16 | 10 26 58.88 | 32 57.61-117 | 49.30 | 3.9 | * |
| 1985 | 6 | 18 | 0 12 55.23 | 32 41.45-117 | 9.02 | 3.9 | * |
| 1985 | 6 | 18 | 3 22 28.67 | 32 40.72-117 | 9.08 | 4.0 | * |
| 1985 | 6 | 18 | 4 28 15.28 | 32 41.07-117 | 9.14 | 3.8 | * |
| 1985 | 6 | 18 | 21 51 38.81 | 32 42.02-117 | 9.10 | 2.9 | * |
| 1985 | 6 | 19 | 11 20 39.19 | 32 41.46-117 | 8.64 | 2.9 | * |
| 1985 | 6 | 19 | 11 37 37.69 | 32 41.35-117 | 8.78 | 2.9 | * |
| 1985 | 6 | 21 | 1 15 35.88 | 32 8.74-115 | 40.55 | 3.5 | 1 |
| 1985 | 6 | 21 | 9 51 51.70 | 33 5.23-117 | 27.39 | 3.4 | * |
| 1985 | 6 | 25 | 18 50 | 31 34 -115 | 52 | 3.8 | * |
| 1985 | 6 | 25 | 20 26 18.50 | 31 45.12-115 | 51.68 | 3.8 | * |
| 1985 | 7 | 15 | 0 40 18.42 | 31 54.93-115 | 50.93 | 3.5 | 3 |
| 1985 | 8 | 6 | 12 53 56.49 | 31 40.67-115 | 53.33 | 4.2 | * |
| 1985 | 8 | 6 | 18 50 | 31 34 -115 | 52 | 3.8 | 3 |
| 1985 | 8 | 29 | 4 55 5.26 | 32 53.23-115 | 30.56 | 3.2 | * |
| 1985 | 9 | 26 | 2 53 38.50 | 31 54.19-115 | 49.47 | 3.6 | * |
| 1985 | 11 | 4 | 15 9 26.54 | 32 35.83-118 | 3.65 | 3.4 | * |
| 1985 | 11 | 10 | 3 25 | 33 13 -118 | 32 | 3.6 | 3 |
| 1985 | 11 | 19 | 12 44 55.84 | 32 11.16-115 | 29.43 | 3.4 | * |
| 1986 | 1 | 4 | 11 26 52.27 | 31 47.97-115 | 43.39 | 3.6 | 1 |
| 1986 | 2 | 7 | 0 9 23.57 | 31 51.69-115 | 47.59 | 4.3 | * |
| 1986 | 2 | 7 | 0 40 3.64 | 31 52.65-115 | 48.24 | 4.2 | * |
| 1986 | 2 | 7 | 7 40 1.90 | 31 52.09-115 | 47.91 | 3.5 | 3 |

TABLA III (CONTINUACION)

| FECHA | HR | MN | SEG | LATITUD | LONGITUD | MAG | S |
|-------|----|----|-------|--------------|----------|-----|---|
| 1986 | 2 | 17 | 10 58 | 32 57.98-115 | 33.15 | 3.3 | * |
| 1986 | 2 | 19 | 0 47 | 32 30.48-117 | 33.33 | 3.9 | * |
| 1986 | 2 | 28 | 15 28 | 31 50.97-115 | 46.66 | 4.3 | * |
| 1986 | 3 | 15 | 3 11 | 31 50.66-115 | 47.63 | 3.6 | 1 |
| 1986 | 4 | 5 | 6 50 | 33 43.79-118 | 0.60 | 3.6 | * |
| 1986 | 4 | 5 | 17 21 | 33 20.19-115 | 42.55 | 3.8 | * |
| 1986 | 5 | 6 | 3 40 | 31 34.00-117 | 7.27 | 3.8 | * |
| 1986 | 5 | 11 | 4 4 | 31 28.75-115 | 35.90 | 3.5 | 3 |
| 1986 | 5 | 11 | 17 31 | 32 6.82-115 | 37.41 | 3.4 | * |
| 1986 | 5 | 27 | 0 49 | 31 19.88-115 | 58.17 | 3.9 | * |
| 1986 | 6 | 23 | 23 46 | 32 10.42-115 | 9.59 | 4.4 | * |
| 1986 | 6 | 24 | 13 13 | 32 8.93-115 | 6.54 | 4.3 | * |
| 1986 | 6 | 25 | 22 4 | 31 10.35-115 | 32.62 | 3.7 | 3 |
| 1986 | 6 | 29 | 15 0 | 31 58.59-116 | 17.55 | 3.6 | * |
| 1986 | 7 | 6 | 16 34 | 32 29.36-115 | 13.92 | 3.3 | * |
| 1986 | 7 | 13 | 13 47 | 32 58.33-117 | 52.36 | 4.8 | * |
| 1986 | 7 | 13 | 13 53 | 32 58.39-117 | 49.47 | 3.9 | * |
| 1986 | 7 | 13 | 14 1 | 32 59.63-117 | 50.81 | 4.6 | * |
| 1986 | 7 | 13 | 14 11 | 32 58.31-117 | 47.16 | 3.7 | * |
| 1986 | 7 | 13 | 14 26 | 32 57.90-117 | 46.88 | 3.6 | 2 |
| 1986 | 7 | 13 | 15 27 | 32 58.06-117 | 44.03 | 3.3 | * |
| 1986 | 7 | 13 | 15 50 | 32 53.50-117 | 44.52 | 3.7 | * |
| 1986 | 7 | 13 | 23 53 | 32 57.64-117 | 46.38 | 3.6 | * |
| 1986 | 7 | 14 | 0 32 | 32 58.39-117 | 48.16 | 4.0 | * |
| 1986 | 7 | 14 | 1 11 | 32 57.16-117 | 50.28 | 3.7 | * |
| 1986 | 7 | 14 | 7 17 | 32 57.76-117 | 48.48 | 3.6 | * |
| 1986 | 7 | 14 | 9 7 | 32 57.63-117 | 48.81 | 3.6 | 2 |
| 1986 | 7 | 14 | 14 44 | 32 58.69-117 | 48.91 | 3.7 | * |
| 1986 | 7 | 16 | 12 47 | 32 56.82-117 | 49.08 | 3.7 | * |
| 1986 | 7 | 23 | 2 57 | 32 57.90-117 | 48.26 | 3.5 | 1 |
| 1986 | 7 | 28 | 2 54 | 32 56.59-117 | 49.32 | 3.6 | * |
| 1986 | 7 | 29 | 8 17 | 32 56.34-117 | 50.38 | 4.3 | * |
| 1986 | 7 | 29 | 11 22 | 32 55.95-117 | 49.98 | 3.5 | 1 |
| 1986 | 7 | 30 | 22 51 | 32 59.23-117 | 47.90 | 3.9 | * |
| 1986 | 8 | 15 | 18 45 | 32 55.98-117 | 48.69 | 3.7 | * |
| 1986 | 8 | 26 | 19 11 | 32 54.95-117 | 51.18 | 3.5 | * |
| 1986 | 9 | 7 | 1 3 | 32 25.83-115 | 7.40 | 3.3 | * |
| 1986 | 9 | 7 | 1 11 | 32 25.14-115 | 7.72 | 3.6 | 2 |
| 1986 | 9 | 7 | 4 17 | 32 25.37-115 | 8.50 | 3.1 | * |
| 1986 | 9 | 7 | 5.50 | 32 23.01-115 | 9.63 | 3.5 | * |
| 1986 | 9 | 7 | 6 40 | 32 25.76-115 | 7.43 | 3.4 | * |
| 1986 | 9 | 30 | 9 52 | 32 58.79-117 | 48.03 | 3.9 | * |
| 1986 | 10 | 1 | 20 12 | 32 59.16-117 | 50.64 | 4.0 | * |
| 1986 | 10 | 7 | 4 40 | 32 26.35-115 | 22.23 | 3.5 | * |
| 1986 | 10 | 17 | 0 28 | 31 40.07-116 | 13.30 | 3.4 | * |
| 1986 | 10 | 29 | 2 38 | 32 36.88-117 | 9.12 | 4.1 | * |
| 1986 | 12 | 29 | 16 05 | 33 1.02-115 | 47.15 | 3.4 | * |

TABLA III (CONTINUACION)

| FECHA | HR | MN | SEG | LATITUD | LONGITUD | MAG | S |
|-------|----|----|-------------|--------------|----------|-----|---|
| 1987 | 1 | 24 | 14 5 10.00 | 32 58.40-115 | 32.74 | 3.4 | * |
| 1987 | 2 | 7 | 3 45 14.79 | 32 23.57-115 | 18.68 | 5.4 | * |
| 1987 | 2 | 7 | 9 59 34.59 | 32 22.29-115 | 20.10 | 3.7 | * |
| 1987 | 2 | 7 | 10 25 39.11 | 32 24.30-115 | 20.36 | 3.8 | * |
| 1987 | 2 | 9 | 3 38 56.36 | 32 25.71-115 | 19.49 | 3.7 | * |
| 1987 | 2 | 27 | 22 5 43.74 | 31 28.95-118 | 0.84 | 3.1 | * |
| 1987 | 3 | 15 | 17 44 7.26 | 32 34.80-118 | 0.79 | 3.3 | * |
| 1987 | 4 | 10 | 8 24 49.03 | 32 57.49-117 | 49.04 | 3.4 | * |
| 1987 | 4 | 20 | 18 59 3.59 | 32 3.64-114 | 56.77 | 3.0 | * |
| 1987 | 5 | 13 | 0 45 32.80 | 31 29.68-115 | 54.68 | 3.3 | * |
| 1987 | 5 | 13 | 21 30 0.80 | 31 8.44-116 | 46.64 | 3.6 | * |
| 1987 | 5 | 15 | 5 8 14.97 | 32 0.78-114 | 54.78 | 3.3 | * |
| 1987 | 6 | 7 | 9 15 53.78 | 32 38.50-115 | 52.86 | 3.1 | 3 |
| 1987 | 16 | 11 | 08 56 39.26 | 32 39.23-115 | 47.05 | 3.3 | * |
| 1987 | 10 | 27 | 0 55 06.63 | 31 24.28-116 | 26.74 | 3.7 | * |
| 1987 | 11 | 24 | 1 32 47.99 | 33 4.02-115 | 47.72 | 4.2 | * |
| 1987 | 11 | 24 | 1 53 3.16 | 33 4.31-115 | 46.92 | 4.0 | * |
| 1987 | 11 | 24 | 1 54 14.51 | 33 4.95-115 | 46.51 | 5.8 | * |
| 1987 | 11 | 24 | 2 14 35.45 | 33 2.14-115 | 49.18 | 4.5 | * |
| 1987 | 11 | 24 | 2 53 0.74 | 33 2.38-115 | 48.73 | 4.7 | * |
| 1987 | 11 | 24 | 13 15 56.46 | 33 0.76-115 | 50.31 | 6.0 | * |
| 1987 | 11 | 24 | 13 32 59.89 | 32 59.60-115 | 52.31 | 4.2 | 1 |
| 1987 | 11 | 24 | 13 34 39.93 | 32 56.54-115 | 45.77 | 4.8 | 1 |
| 1987 | 11 | 24 | 13 53 40.94 | 32 59.31-115 | 50.12 | 3.9 | 1 |
| 1987 | 11 | 24 | 14 24 39.57 | 32 59.60-115 | 49.01 | 3.5 | 1 |
| 1987 | 11 | 24 | 14 36 29.93 | 33 2.80-115 | 48.46 | 4.0 | * |
| 1987 | 11 | 24 | 18 50 40.31 | 33 0.99-115 | 52.85 | 4.3 | * |
| 1987 | 11 | 25 | 13 54 10.00 | 32 58.75-115 | 48.96 | 4.2 | * |
| 1987 | 11 | 26 | 0 19 31.60 | 32 59.80-115 | 51.00 | 3.7 | * |
| 1987 | 11 | 26 | 0 22 15.02 | 32 59.89-115 | 50.85 | 3.5 | * |
| 1987 | 11 | 26 | 1 56 27.53 | 32 59.22-115 | 49.42 | 3.7 | 1 |
| 1987 | 11 | 27 | 1 10 10.53 | 32 59.74-115 | 48.97 | 4.7 | * |
| 1987 | 11 | 27 | 9 22 57.69 | 32 59.95-115 | 48.37 | 4.1 | * |
| 1987 | 11 | 28 | 0 39 10.94 | 32 58.81-115 | 48.55 | 4.2 | * |
| 1987 | 11 | 29 | 13 0 37.66 | 31 47.59-115 | 51.31 | 4.1 | 1 |
| 1987 | 12 | 2 | 3 59 46.46 | 31 47.23-115 | 48.48 | 3.8 | 3 |
| 1987 | 12 | 2 | 4 3 12.35 | 32 59.70-115 | 48.80 | 4.0 | * |
| 1987 | 12 | 2 | 4 9 26.99 | 31 57.22-115 | 41.58 | 3.6 | 1 |
| 1987 | 12 | 3 | 19 4 36.60 | 33 0.36-115 | 52.41 | 3.8 | * |
| 1987 | 12 | 13 | 15 2 39.43 | 32 54.76-115 | 41.73 | 3.6 | 1 |

número 2 no se trabajaron, ya que representan réplicas muy parecidas de un sismo ocurrido poco antes o poco después. En resumen, del total de los sismos a estudiar, quedan fuera 31 eventos debido a las causas descritas.

Una vez que se cuenta con los boletines que contienen la localización preliminar, los tiempos de arribo y los sismogramas de los sismos restantes, se procede a evaluar los datos de polaridad con los que cuenta cada uno. Se eliminan aquellos que presentan únicamente unas pocas dilataciones o compresiones y aquellos que contienen menos de cinco datos de polaridad. En la Tabla III son señalados con el número 3 en la columna S y suman un total de 20 casos.

Ya realizado este prefiltrado de los sismos, se almacenan los datos de cada sismo en el formato requerido para efectuar la localización hipocentral mediante el programa HYPO71 (Lee y Lahr, 1971). Aquí, se incluyen los datos provenientes de RESNOR, USGS-Caltech así como de las redes locales Cerro Prieto, colocada en el Valle de Mexicali muy cerca del Volcán Cerro Prieto, la colocada por Rebolgar y Reichle (1987), colocada en el extremo sur de la Falla San Miguel y, la red colocada por CICESE para el temblor de Pino Solo de 1985 (González y Munguía, 1986).

Una vez con los datos en la computadora y ya corregida la convención en la polaridad de la estación, se realizó una determinación preliminar de hipocentros y del mecanismo focal de cada evento. Esta determinación preliminar se hizo con el fin de tener una estimación inicial de la cantidad de sismos que presentan datos suficientes para obtener la localización y la solución del mecanismo focal. Estos sismos se indican con un asterisco en la Tabla III y suman un total de 177 eventos. La determinación hipocentral se hace usando un modelo estructural de corteza que es intermedio entre el de Nava y Brune (1982) para las Cordilleras Peninsulares y el de González (1986) para el Valle de Mexicali-Imperial (Fig. 13).

Una vez establecidos los eventos que contienen datos suficientes para su análisis, se procede a clasificarlos, de acuerdo a su localización, dentro de las tres provincias fisiográficas del área de estudio. El objeto de hacer esta regionalización es el de tomar en cuenta las diferencias en la estructura de la corteza de cada provincia. Se establece un modelo estructural para cada provincia. Los detalles acerca de las características de cada modelo se dan en la sección correspondiente a "Estructura y Localización" de cada provincia. En términos generales, los modelos son basados en resultados obtenidos por otros autores y en pruebas donde se estudian las gráficas de residuales de

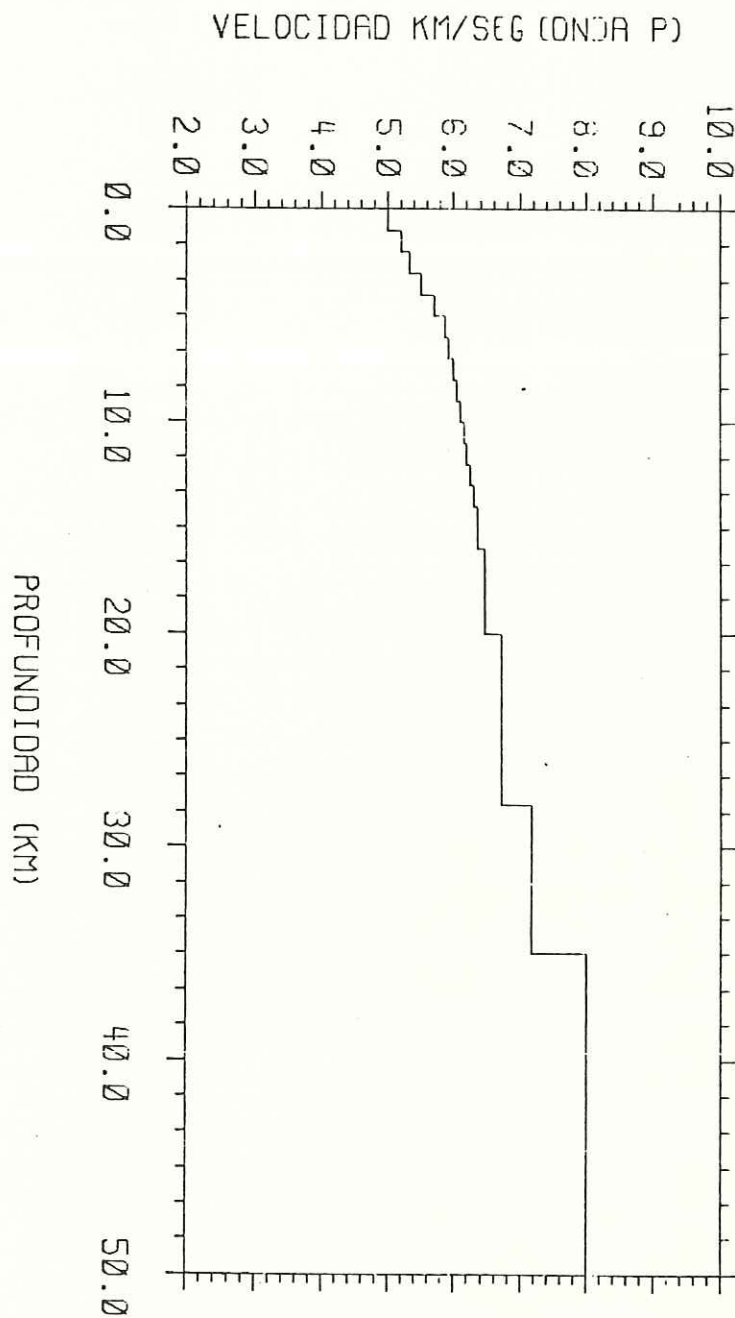


Fig.13 Modelo utilizado en la determinación preliminar de hipocentros y mecanismos focal. Este modelo es intermedio entre los modelos de Nava y Brune (1982) y González (1986) para las Cordilleras Peninsulares y la Cuenca de Salton respectivamente.

tiempos de arribo de las estaciones sismológicas, los errores en la localización y los mecanismos focales.

Una vez que se cuenta con los modelos, se efectúan las localizaciones y se procede a obtener la solución del mecanismo focal. Los resultados de cada uno de estos pasos se presentan por provincia y detalle en las secciones siguientes. En la sección correspondiente a los mecanismos focales, he dividido las soluciones en aquellas de calidad buena, moderadas y malas, en base a las características que siguen.

Los mecanismos focales de buena calidad por lo regular se basan en más de 30 datos bien distribuidos. Los planos nodales quedan bien constreñidos por una buena cobertura azimutal de estaciones. En general, las estaciones que controlan el tipo de solución (estaciones críticas) se anotan en las figuras y fueron inspeccionadas visualmente en el registro y en los sismogramas para comprobar el dato de polaridad. Se señala con la letra B al plano que se encuentra orientado entre los 270° y 360° . Este plano podría corresponder al plano de falla en muchos de los casos, si suponemos que el carácter lateral-derecho de las fallas, así como su orientación, tienden a preservarse en las soluciones obtenidas.

Los casos de calidad moderada son aquellos en los que la solución depende de muy pocos "datos críticos" y, por lo tanto, su calidad puede discutirse. Satisfacen en general más de un tipo de solución, tendiéndose a preferir la que se encuentra apoyada por una mayor cantidad de datos. En la sección correspondiente a mecanismos focales, se hace un breve comentario de la solución y de las razones que llevan a elegir una en especial. En todos los casos de calidad moderada, la solución preferida se indica con dos planos nodales en línea continua. Se indica con la letra B al plano que tiene dirección NW. Las soluciones de calidad buena y moderada encontradas en esta Tesis suman un total de 117 y constituyen el 53% de los sismos que aparecen en la Tabla III.

Los eventos de mala calidad se presentan en el apéndice y no se utilizan en las discusiones ya que no producen una solución bien determinada. En los resultados, solamente se describen aquellos casos que pertenecen a una secuencia interesante o que en conjunto parecen sugerir un tipo de solución. En conjunto, los eventos que son eliminados suman un total de 166 sismos y forman el 47% de los sismos que aparecen en la Tabla III.

Los eventos cuyas soluciones de mecanismo focal han sido reportadas en la bibliografía para el área de estudio

son incluidos en la Tesis presentándose las referencias correspondientes y localizaciones en la Tabla IV y, las soluciones en las figuras de cada provincia. Los comentarios se hacen en la sección correspondiente a la descripción de resultados de cada provincia.

Se obtuvieron los ejes de tensión y compresión máxima para cada una de las soluciones presentadas y, además, la orientación promedio de los mismos para cada una de las provincias. Esto se hizo colocando los puntos que representan los ejes de tensión y compresión sobre una proyección similar a la de las soluciones de los mecanismos focales. Se separan para ésto las soluciones con mecanismos de falla a rumbo de aquellos mecanismos de falla de echado (normales e inversos) con el fin de observar cuáles movimientos son predominantes. A continuación se presentan los resultados particulares obtenidos para cada provincia.

III.2. - Borde Continental.

III.2.1. - Introducción.

El problema principal, tanto en la localización como en el análisis detallado de las soluciones de esta región,

TABLA IV

Eventos en los que otros autores han determinado mecanismos focales.
El encabezado "LETRA" señala el símbolo en las figuras.

ENJAMBRE BAHIA TODOS SANTOS, GONZALEZ Y SUAREZ (1984)

Ocurre dentro de la Bahía de Ensenada durante octubre, noviembre y diciembre de 1981, Magnitud inferior a 3.5. LETRA J.

ENJAMBRE SAN QUINTIN DE REBOLLAR ET AL, (1982)

| FECHA | LAT - N | LON - W | PROF | MAG | LETRA |
|--------|---------|---------|-------|------|-------|
| 750913 | 30-39 | 116-17 | 15.00 | <3.5 | |

EVENTOS DE LA TESIS DE LEGG (1985)

| FECHA | HRMI | SEG | LAT - N | LON - W | PROF | MAG | LETRA |
|--------|------|------|----------|-----------|-------|-----|-------|
| 511226 | 1951 | 00.5 | 32-49.02 | 118-21.00 | 0.00 | 5.9 | A |
| 541017 | 2257 | 18.0 | 31-30.00 | 116-30.00 | 0.00 | 5.7 | B |
| 641222 | 2054 | 33.2 | 31-48.66 | 117-70.20 | 2.30 | 5.6 | C |
| 680410 | 1055 | 03.2 | 31-56.34 | 116-52.98 | 10.00 | 4.3 | D |
| 691024 | 0829 | 12.1 | 33-17.46 | 119-11.58 | 10.00 | 5.1 | E |
| 730526 | 2346 | 33.3 | 32-31.74 | 118-04.20 | 8.00 | 4.3 | F |
| 731028 | 2200 | 02.7 | 32-41.00 | 118-03.10 | 8.00 | 4.5 | G |
| 750112 | 2122 | 14.8 | 32-45.48 | 117-59.28 | 15.30 | 4.8 | H |
| 761015 | 1726 | 52.6 | 32-43.02 | 117-55.02 | 15.00 | 4.2 | I |

GONZALEZ Y MUNGUIA, 1987

| FECHA | HRMI | SEG | LAT - N | LON - W | PROF | MAG |
|--------|------|-------|----------|-----------|-------|-----|
| 850508 | 2340 | 21.40 | 31 53.84 | 115 51.80 | 15.89 | 5.1 |

TEMBLOR DE PINO SOLO (NAVA Y BRUNE, 1983)

| FECHA | ORIGEN | LAT N | LONG W | PROF | MAG | LETRA |
|--------|--------|----------|-----------|------|-----|-------|
| 750717 | | 31-49.50 | 115-51.30 | 5.00 | 5.1 | PS |

REBOLLAR Y REICHLER, 1987

| FECHA | HRMI | LAT - N | LON - W | PROF | MAG | LETRA |
|--------|------|---------|---------|------|-----|-------|
| 830112 | 1830 | 31-52 | 115-45 | | 4.4 | C41 |

Solo se encontró la localización del evento C41 en sus datos.

MAGISTRALE, JONES Y KANAMORI, 1987

| FECHA | HRMI | LAT - N | LON - W | PROF | MAG |
|--------|------|---------|----------|------|-----|
| 871124 | 0154 | 33 04.9 | 115 47.7 | 10.6 | 6.2 |
| 871124 | 1315 | 33 00.9 | 115 50.9 | 1.9 | 6.6 |

GOFF ET AL, 1987

| FECHA | HRMI | SEG | LAT - N | LON - W | PROF | MAG |
|--------|------|------|---------|---------|------|-----|
| 660807 | 1736 | 28.5 | 31.74 | 114.31 | 12.3 | 5.7 |
| 690320 | 0817 | 46.1 | 31.32 | 114.18 | 6.2 | 5.3 |
| 690321 | 0634 | 26 | 31.25 | 114.31 | 3.2 | 5.6 |

Tabla IV (continuación)

FREZ Y GONZALEZ, 1989

| FECHA | HRMI | LAT - N | LON - W | PROF | MAG | LETRA |
|--------|------|---------|---------|------|-----|-------|
| 771125 | 1142 | 32-32 | 115-17 | 9.0 | 2.9 | 1 |
| 771211 | 452 | 32-38 | 115-19 | 9.0 | 2.7 | 2 |
| 771211 | 455 | 32-36 | 115-19 | 9.0 | 2.8 | 3 |
| 791016 | 1051 | 32-57 | 115-32 | 12.0 | 3.9 | 4 |
| 791016 | 832 | 32-54 | 115-30 | 11.0 | 3.2 | 5 |
| 791016 | 1420 | 32-58 | 115-32 | 9.0 | 3.3 | 6 |
| 791016 | 1500 | 33-01 | 115-30 | 7.0 | 4.0 | 7 |
| 791016 | 2942 | 32-47 | 115-26 | 10.0 | 2.6 | 8 |
| 791016 | 1722 | 32-54 | 115-29 | 11.0 | 3.7 | 9 |
| 791016 | 2316 | 33-01 | 115-30 | 8.0 | 4.9 | 10 |
| 791017 | 330 | 33-05 | 115-34 | 8.0 | 2.3 | 11 |
| 791017 | 355 | 32-47 | 115-28 | 11.0 | 2.9 | 12 |
| 791017 | 814 | 33-02 | 115-30 | 6.0 | 3.5 | 13 |
| 791017 | 827 | 33-00 | 115-20 | 6.0 | 2.9 | 14 |
| 791017 | 912 | 32-56 | 115-31 | 11.0 | 3.0 | 15 |
| 791017 | 1013 | 32-49 | 115-28 | 8.0 | 2.7 | 16 |
| 791017 | 1903 | 33-01 | 115-30 | 4.0 | 3.4 | 17 |
| 791017 | 1914 | 32-55 | 115-34 | 11.0 | 4.1 | 18 |
| 791017 | 4 2 | 32-32 | 115-17 | 9.0 | 2.9 | 1 |
| 791017 | 2219 | 32-45 | 115-24 | 11.0 | 2.9 | 19 |
| 791017 | 2231 | 32-55 | 115-34 | 11.0 | 2.9 | 20 |
| 791017 | 2245 | 33-02 | 115-29 | 5.0 | 4.5 | 21 |
| 791017 | 2327 | 33272 | 115-30 | 5.0 | 3.2 | 22 |
| 791018 | 0014 | 33-03 | 115-29 | 4.0 | 2.8 | 23 |
| 791018 | 029 | 33-09 | 115-37 | 7.0 | 3.3 | 24 |
| 791018 | 214 | 33-09 | 115-37 | 7.0 | 3.0 | 25 |
| 791018 | 436 | 33-09 | 115-37 | 7.0 | 2.8 | 26 |
| 791018 | 440 | 33-09 | 115-37 | 7.0 | 3.0 | 27 |
| 791018 | 831 | 33-09 | 115-37 | 7.0 | 2.9 | 28 |
| 791018 | 820 | 32-03 | 115-29 | 4.0 | 2.7 | 29 |
| 791018 | 1201 | 32-59 | 115-36 | 11.0 | 3.5 | 30 |
| 791018 | 1456 | 33-02 | 115-29 | 4.0 | 3.3 | 31 |
| 791018 | 1624 | 32-54 | 115-31 | 11.0 | 3.2 | 32 |
| 791018 | 1916 | 32-58 | 115-36 | 11.0 | 3.2 | 33 |
| 791019 | 1035 | 32-55 | 115-33 | 10.0 | 3.4 | 34 |
| 791019 | 1942 | 32-28 | 115-13 | 9.0 | 3.3 | 35 |
| 791019 | 2200 | 33-02 | 115-34 | 9.0 | 2.7 | 36 |
| 791020 | 5 4 | 32-56 | 115-32 | 11.0 | 3.0 | 37 |
| 791020 | 1452 | 32-53 | 115-30 | 8.0 | 3.3 | 38 |
| 791021 | 455 | 33-10 | 115-37 | 5.0 | 2.6 | 39 |
| 791022 | 1040 | 32-47 | 115-27 | 10.0 | 2.6 | 40 |
| 791026 | 1933 | 33-08 | 115-25 | 6.0 | 2.8 | 41 |
| 811025 | 211 | 33-07 | 115-37 | 6.0 | 4.1 | 44 |
| 811025 | 7 3 | 33-07 | 115-37 | 8.0 | 3.9 | 45 |
| 811026 | 12 5 | 33-06 | 115-37 | 6.0 | 4.0 | 46 |
| 811026 | 12 9 | 33-06 | 115-37 | 6.0 | 5.7 | 47 |

TABLA IV (continuación)

Hauksson y Jones (1988)

| # | Origen | Localización | Z | M | θ y λ de P * |
|----|-------------|------------------------------|------|-----|-----------------------------|
| 1 | 860713 1347 | 8.19 32 58.71 117 57.52 | 8.81 | 5.3 | 200.0 50.0 70.0 |
| 2 | 860713 1358 | 50.27 32 59.40 117 47.15 | 7.49 | 3.3 | 245.0 55.0 110.0 |
| 3 | 860713 1401 | 32.82 33 0.23 117 50.90 | 7.29 | 4.6 | 75.0 60.0 180.0 |
| 4 | 860713 1411 | 0.52 32 58.60 117 47.39 | 4.89 | 3.7 | 170.0 55.0 40.0 |
| 5 | 860713 1425 | 1.29 32 58.69 117 45.63 | 4.95 | 3.6 | 58.2 70.1 174.7 |
| 6 | 860713 1444 | 41.52 32 58.71 117 46.62 | 8.07 | 3.1 | 190.0 50.0 70.0 |
| 7 | 860713 1527 | 7.39 32 58.71 117 43.52 | 2.05 | 3.3 | 160.0 60.0 20.0 |
| 8 | 860713 1552 | 9.19 32 59.20 117 46.37 | 4.23 | 3.1 | 67.9 60.1-174.2 |
| 9 | 860713 1610 | 17.83 32 57.41 117 47.08 | 9.17 | 3.2 | 285.0 90.0 155.0 |
| 10 | 860713 2325 | 13.28 32 59.43 117 44.05 | 6.21 | 3.4 | 185.0 45.0 60.0 |
| 11 | 860713 2353 | 42.60 32 59.40 117 45.01 | 2.49 | 3.6 | 180.0 40.0 60.0 |
| 12 | 860714 | 32 45.99 32 59.72 117 47.20 | 4.78 | 4.0 | 170.0 60.0 30.0 |
| 13 | 860714 | 111 10.34 32 57.91 117 49.17 | 8.04 | 3.7 | 175.0 45.0 30.0 |
| 14 | 860714 | 536 44.64 32 57.79 117 50.23 | 8.67 | 3.4 | 105.0 60.0-130.0 |
| 15 | 860714 | 717 34.72 32 59.57 117 47.26 | 0.24 | 3.6 | 80.0 75.0-170.0 |
| 16 | 860714 | 906 47.31 32 57.55 117 47.73 | 6.47 | 2.9 | 81.2 62.0-157.2 |
| 17 | 860714 | 907 53.81 32 59.56 117 47.73 | 4.66 | 3.6 | 85.0 70.0-160.0 |
| 18 | 860714 1444 | 8.43 32 58.66 117 48.97 | 8.81 | 3.7 | 165.0 75.0 40.0 |
| 19 | 860714 1620 | 9.59 32 59.35 117 49.64 | 6.99 | 3.4 | 81.2 62.0-157.2 |
| 20 | 860714 1714 | 42.84 32 59.99 117 45.11 | 5.37 | 3.4 | 160.0 50.0 40.0 |
| 21 | 860714 2123 | 9.39 32 58.65 117 44.26 | 0.52 | 3.1 | 150.0 70.0 30.0 |
| 22 | 860714 2237 | 7.90 33 0.85 117 48.27 | 7.46 | 3.0 | 235.0 55.0 70.0 |
| 23 | 860714 2258 | 49.79 32 57.20 117 47.70 | 8.21 | 3.1 | 275.0 80.0 130.0 |
| 24 | 860715 1502 | 45.17 32 58.91 117 43.65 | 4.68 | 3.1 | 79.1 80.0 174.9 |
| 25 | 860716 | 32 32.79 33 0.18 117 50.06 | 6.16 | 3.0 | 250.0 35.0 80.0 |
| 26 | 860716 520 | 50.71 33 0.85 117 45.60 | 3.72 | 3.2 | 160.0 45.0 50.0 |
| 27 | 860716 1247 | 1.08 32 58.27 117 48.29 | 2.75 | 3.7 | 175.0 50.0 60.0 |
| 28 | 860716 1533 | 17.78 32 58.03 117 50.04 | 8.20 | 3.0 | 110.0 55.0-130.0 |
| 29 | 860716 2114 | 2.19 32 58.19 117 48.33 | 6.70 | 3.0 | 90.0 75.0-160.0 |
| 30 | 860718 338 | 40.38 33 1.82 117 42.84 | 0.92 | 3.0 | 175.0 70.0 40.0 |
| 31 | 860719 301 | 21.17 33 1.25 117 44.17 | 4.05 | 3.0 | 185.0 55.0 70.0 |
| 32 | 860719 1023 | 38.56 32 58.24 117 48.34 | 1.32 | 3.1 | 170.0 55.0 70.0 |
| 33 | 860719 1345 | 26.37 32 57.71 117 48.90 | 6.76 | 3.2 | 85.0 50.0-170.0 |
| 34 | 860720 1302 | 22.96 32 57.38 117 45.18 | 2.94 | 3.3 | 150.0 75.0 30.0 |
| 35 | 860721 1829 | 30.76 33 1.15 117 48.07 | 8.44 | 3.8 | 190.0 45.0 60.0 |
| 36 | 860723 257 | 58.17 32 59.95 117 47.28 | 4.44 | 3.5 | 160.0 55.0 40.0 |
| 37 | 860723 1029 | 1.63 33 0.79 117 48.96 | 6.22 | 3.4 | 190.0 50.0 50.0 |
| 38 | 860723 1722 | 16.54 33 1.43 117 43.79 | 4.32 | 3.3 | 85.0 85.0-170.0 |
| 39 | 860725 350 | 7.65 32 58.92 117 48.20 | 0.12 | 3.0 | 185.0 55.0 70.0 |
| 40 | 860726 111 | 49.52 32 58.04 117 49.20 | 7.80 | 3.0 | 88.4 80.6-159.7 |
| 41 | 860728 254 | 45.71 32 57.19 117 48.68 | 4.97 | 3.6 | 90.0 65.0-160.0 |
| 42 | 860728 1033 | 9.24 32 58.32 117 48.67 | 4.50 | 3.2 | 175.0 50.0 60.0 |
| 43 | 860729 817 | 41.44 32 56.66 117 49.75 | 5.61 | 4.3 | 95.0 50.0-150.0 |
| 44 | 860729 1122 | 22.41 32 57.45 117 48.89 | 5.09 | 3.5 | 90.0 65.0-160.0 |
| 45 | 860730 26 | 29.70 32 57.82 117 48.42 | 2.17 | 3.4 | 35.0 75.0-140.0 |
| 46 | 860730 2251 | 13.05 33 0.67 117 46.89 | 6.58 | 3.9 | 205.0 45.0 90.0 |
| 47 | 860731 1813 | 39.66 32 57.67 117 48.65 | 7.59 | 3.3 | 175.0 60.0 60.0 |
| 48 | 860815 1309 | 46.88 33 0.73 117 46.87 | 4.84 | 3.4 | 150.0 70.0 30.0 |
| 49 | 860915 1845 | 16.15 32 56.86 117 47.84 | 5.61 | 3.7 | 155.0 80.0 40.0 |
| 50 | 860926 1911 | 49.86 32 56.11 117 49.54 | 5.34 | 3.5 | 80.0 70.0-160.0 |
| 51 | 860930 952 | 11.20 33 0.55 117 46.64 | 0.06 | 3.9 | 170.0 45.0 50.0 |
| 52 | 861001 2012 | 18.29 32 58.42 117 50.38 | 8.47 | 4.0 | 170.0 75.0 40.0 |
| 53 | 861002 1523 | 28.62 33 0.57 117 45.16 | 0.11 | 3.4 | 63.2 70.1 174.7 |

* El origen se da por el año, mes y día. La localización es Latitud N y Longitud W en grados, minutos y décimas de minutos. Z es la columna de profundidades y M la de magnitudes. También se presenta el rumbo y el echado del eje de compresión máxima P (columnas θ y λ).

radica en que los epicentros no quedan completamente rodeados de estaciones y en que, además, la distancia mínima de las estaciones al hipocentro es de unos 50 km. Esto produce que las localizaciones tengan errores de 2 a 3 km en latitud y longitud, y de unos 5 km en profundidad. Se incluyen en las soluciones, los datos de polaridad de estaciones lejanas reportados por el USGS para apoyar la determinación del mecanismo focal del evento de Oceanside del 13 de Julio de 1986, $M = 4.8$ (#2, Fig. 41).

III.2.2. - Estructura y Localización Hipocentral.

La estructura de la corteza del Borde Continental Interno puede ser considerada como intermedia entre el tipo oceánico y el tipo continental promedio, con un espesor aproximado de 22 a 26 km (Corbett, 1984). Se utiliza un modelo de velocidades (MC.BOR, Figura 14) que es una variación del modelo de Nava y Brune (1982) para las Cordilleras Peninsulares; la razón de hacer ésto es porque la mayoría de las estaciones están ubicadas en la sierra y por lo tanto, los rayos sísmicos que llegan a ellas tienden a muestrear una estructura más similar a la sierra que al tipo oceánico. Por otro lado, la estructura correspondiente al Borde Continental tiene rasgos continentales.

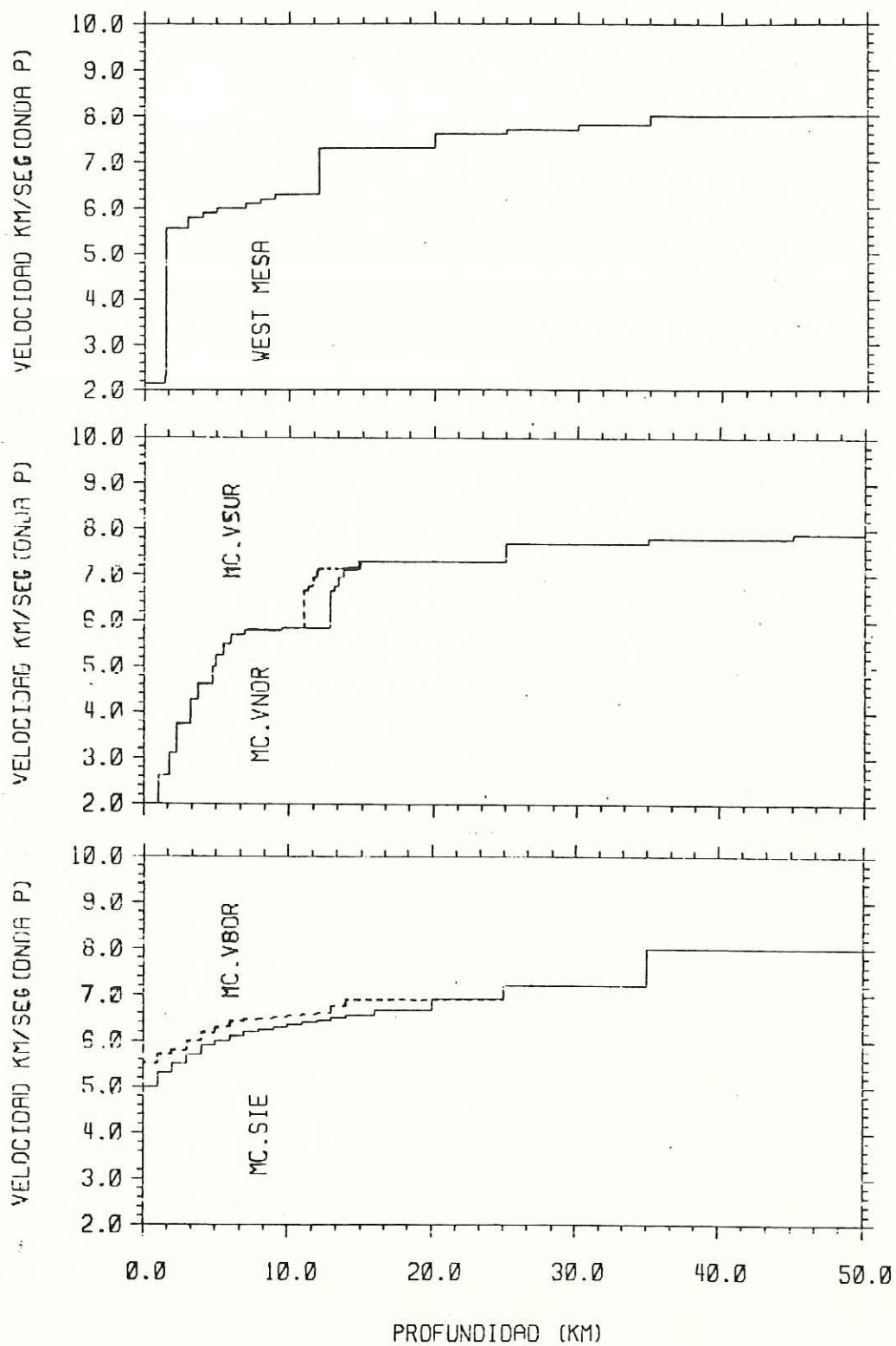


Fig.14 Modelos utilizados en la Tesis para realizar la localización hipocentral. MC.SIE para las Cordilleras Peninsulares, MC.BOR para el Borde Continental y, MC.VNOR, MC.VSUR y WEST-MESA, para la Cuenca de Salton.

El modelo utilizado difiere del de Nava y Brune en tres aspectos: un número mayor de capas que forman un gradiente suave de velocidad en los primeros 6 km, un promedio de velocidades más alto entre los 0 y 25 km y la ausencia de discontinuidades abruptas. El ajuste del modelo fue apoyado por pruebas numéricas en donde se grafican los residuales de tiempo de arribo de las estaciones (Fig. 15). En esta figura los residuales se encuentran alrededor de 0.3 seg. hasta los 100 km lo cual se considera un ajuste bueno para este caso particular.

Otros modelos determinados para el Borde Continental Interno, como el de Corbett (1984), quien utilizó datos de una explosión, o el de Hauksson y Jones (1988) que se utiliza en el estudio de la secuencia de temblores de Oceanside, tienen gran similitud con el modelo MC.BOR con la diferencia básica de que suponen velocidades más bajas en los primeros 25 km (Fig. 16).

En esta región, debido a la ausencia de estaciones cercanas a los eventos, la profundidad de los focos y el mecanismo focal dependen principalmente del modelo de velocidades utilizado por lo que se decidió fijar la profundidad a 5 km en todos los eventos. Esta profundidad está basada en los resultados de Hauksson y Jones (1988) acerca del temblor de Oceanside de 1986, donde se tiene una

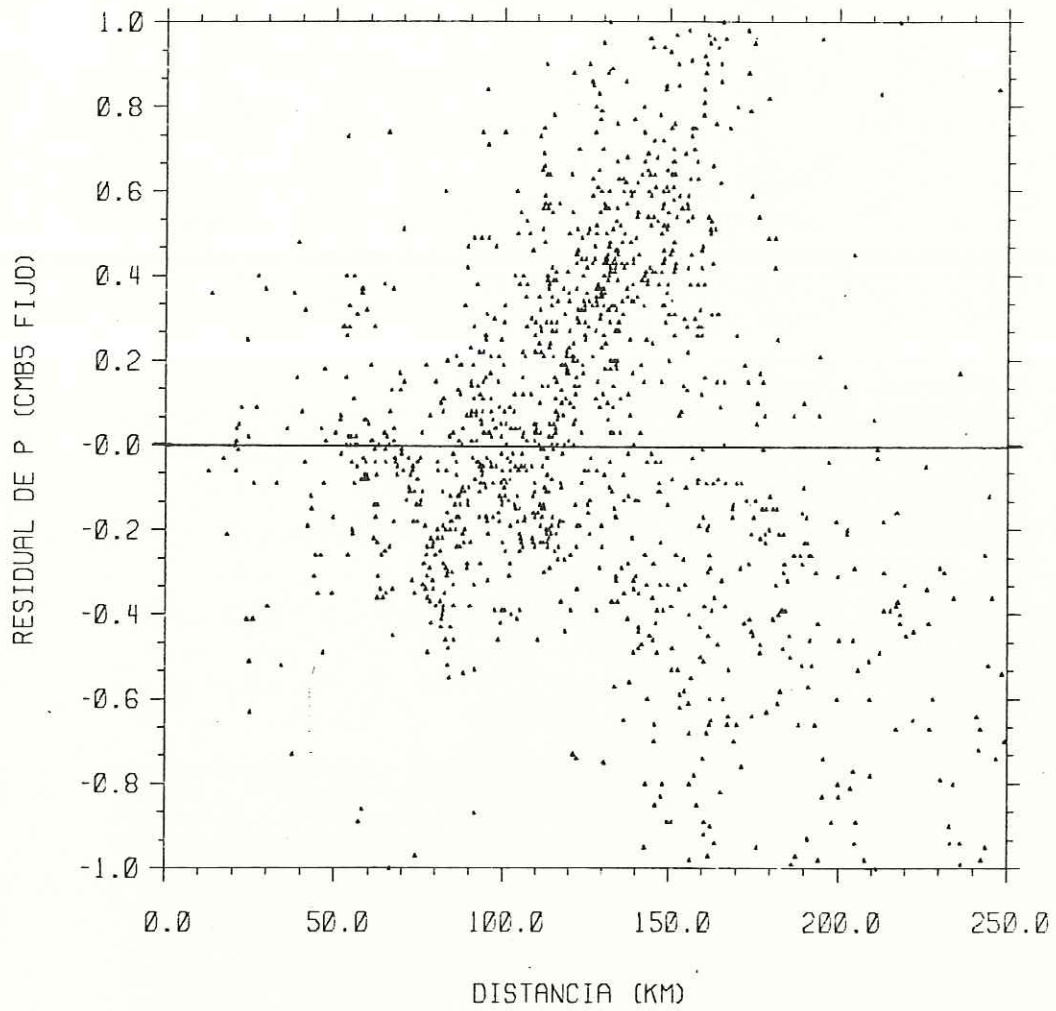


Fig.15 Gráfica de residuales de tiempo de arribo de onda P para las estaciones que registran los sismos ocurridos en la provincia del Borde Continental. Las localizaciones son utilizando el modelo MC.BOR.

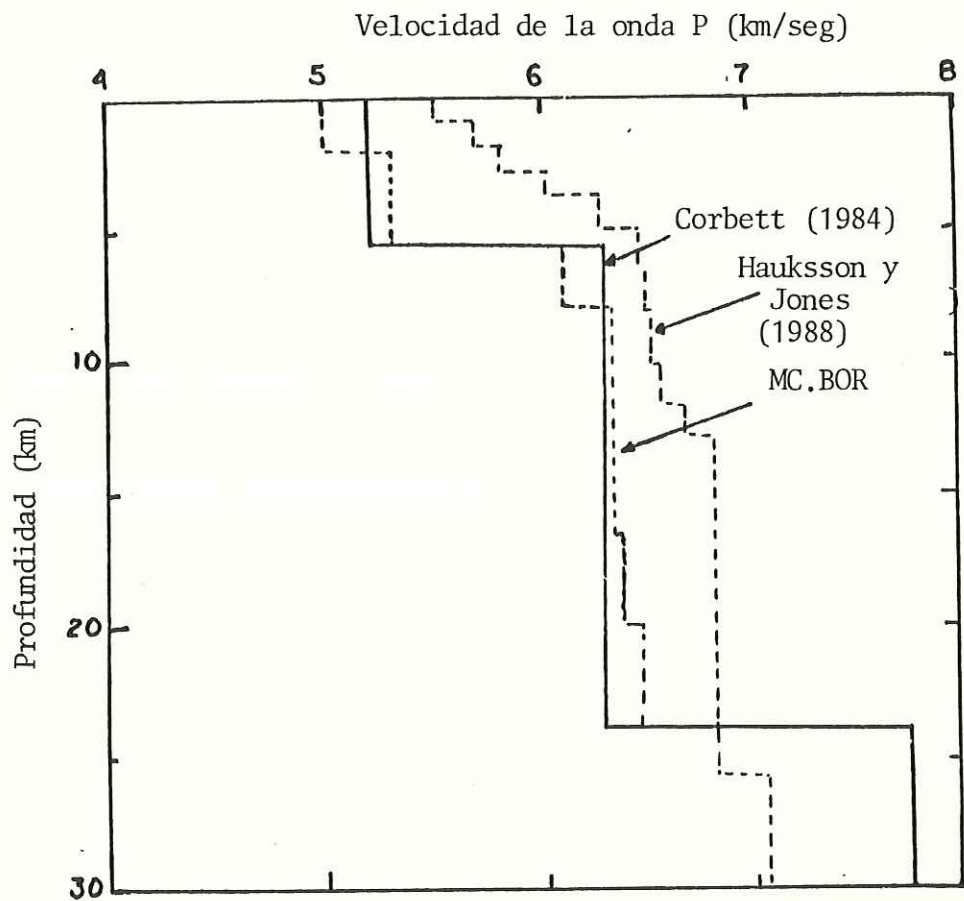


Fig.16 Modelos de Corbett (1984), de Hauksson y Jones (1988) y MC.BOR, utilizados en el Borde Continental.

profundidad promedio de 5 km y, en el estudio acerca del temblor de la Isla de Santa Barbara en 1981 (Corbett, 1984), donde se reporta que la secuencia de eventos ocurrió entre los 8 y 15 km de profundidad.

Los hipocentros son calculados tomando en cuenta los tiempos de arribo de estaciones a distancias menores de 150 km. Debido a una poca cantidad de eventos y a la falta de una buena determinación de la profundidad no se hicieron correcciones de tiempo de arribo para las estaciones. Las localizaciones finales de los eventos estudiados en esta provincia se presentan en la Tabla V y en la Figura 17.

III.2.3. - Mecanismos Focales.

En la Figura 18 se presenta el detalle de cada uno de los mecanismos focales de los eventos de calidad buena y moderada para esta provincia. El conjunto de soluciones obtenidas se presentan en la Figura 19.

Eventos de buena calidad:

Los eventos agrupados dentro de este rango constituyen poco más del 50% de las soluciones obtenidas en esta provincia. En esta provincia, las lecturas RESNOR

TABLA V

Localizaciones de los eventos ubicados en la provincia del Bordo Continental, que presentan calidad buena y moderada en la solución del mecanismo focal. Se presentan además los resultados obtenidos en la orientación de los planos y los ejes de las soluciones. Las abreviaturas son: GAP, ángulo de no cobertura; DMIN, distancia mínima de una estación; RMS, root mean square (norma de residuales); θ , azimut; λ echado; A y B, planos nodales; P y T, ejes de compresión y de tensión.

| # | FECHA | HRMN | SEG | LATITUD | LONGITUD | PROF | MAG | N | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM | θ A | λ A | θ B | λ B | θ T | λ T | θ P | λ P |
|----|--------|------|-------|----------|-----------|-------|-----|----|-----|------|------|-----|------|----|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 1 | 810711 | 2150 | 30.05 | 32-38.09 | 118-0-85 | 5.00* | 4.1 | 8 | 214 | 62.9 | 0.09 | 1.6 | 6.5 | D1 | 12 | 50 | 294 | 80 | 343 | 35 | 238 | 20 |
| 2 | 820525 | 1344 | 30.71 | 33-33.09 | 118-12.31 | 5.00* | 4.1 | 46 | 113 | 24.4 | 0.23 | 0.6 | 1.9 | C1 | 308 | 40 | 128 | 40 | 39 | 85 | 220 | 85 |
| 3 | 840227 | 1018 | 15.40 | 33-28.09 | 118-3.72 | 5.00* | 4.0 | 30 | 125 | 32.5 | 0.28 | 1.0 | 3.3 | C1 | 325 | 40 | 145 | 50 | 231 | 85 | 54 | 85 |
| 4 | 840907 | 113 | 16.54 | 33-4.55 | 117-40.27 | 5.00* | 4.3 | 29 | 158 | 41.1 | 0.30 | 2.5 | 4.0 | C1 | 62 | 90 | 333 | 70 | 17 | 15 | 110 | 12 |
| 5 | 841125 | 58 | 50.69 | 33-20.50 | 118-40.87 | 5.00* | 3.8 | 32 | 197 | 18.3 | 0.19 | 1.0 | 1.6 | C1 | 261 | 25 | 273 | 70 | 1 | 22 | 201 | 70 |
| 6 | 850318 | 744 | 8.90 | 33-59.44 | 118-34.81 | 5.00* | 3.0 | 27 | 70 | 12.7 | 0.27 | 0.8 | 3.1 | C1 | 283 | 60 | 120 | 40 | 18 | 14 | 279 | 72 |
| 7 | 850618 | 013 | 55.80 | 32-41.84 | 117-8.36 | 5.00* | 3.9 | 29 | 191 | 20.6 | 0.37 | 1.6 | 2.6 | D1 | 54 | 90 | 335 | 90 | 21 | 0 | 111 | 0 |
| 8 | 850618 | 322 | 29.24 | 32-41.40 | 117-8.57 | 5.00* | 4.0 | 33 | 187 | 21.5 | 0.39 | 1.5 | 2.3 | D1 | 56 | 90 | 322 | 15 | 191 | 15 | 283 | 15 |
| 9 | 850618 | 428 | 15.77 | 32-41.37 | 117-9.13 | 5.00* | 3.8 | 29 | 201 | 21.7 | 0.33 | 1.5 | 2.3 | D1 | 76 | 90 | 345 | 40 | 21 | 27 | 133 | 40 |
| 10 | 850621 | 951 | 51.70 | 33-5.23 | 117-27.39 | 5.00* | 3.4 | 39 | 154 | 39.2 | 0.31 | 1.1 | 3.2 | C1 | 249 | 55 | 339 | 90 | 29 | 35 | 287 | 35 |
| 11 | 860219 | 047 | 25.89 | 32-32.20 | 117-29.27 | 5.00* | 3.9 | 25 | 178 | 52.7 | 0.21 | 1.3 | 3.2 | C1 | 257 | 60 | 348 | 90 | 37 | 30 | 299 | 30 |
| 12 | 860405 | 650 | 40.80 | 33-43.63 | 118-0.31 | 5.00* | 3.5 | 35 | 95 | 13.1 | 0.29 | 0.7 | 2.8 | C1 | 76 | 45 | 346 | 90 | 41 | 15 | 291 | 45 |
| 13 | 860713 | 1347 | 8.94 | 32-58.58 | 117-51.60 | 5.00* | 4.8 | 36 | 174 | 58.3 | 0.23 | 0.9 | 2.7 | C1 | 8 | 90 | 280 | 60 | 59 | 30 | 320 | 30 |
| 14 | 860713 | 141 | 33.56 | 32-59.63 | 117-50.35 | 5.00* | 4.6 | 27 | 184 | 55.6 | 0.22 | 1.0 | 2.9 | C1 | 79 | 90 | 339 | 40 | 21 | 27 | 133 | 40 |
| 15 | 860713 | 1411 | 2.05 | 32-59.32 | 117-44.88 | 5.00* | 3.7 | 28 | 179 | 51.7 | 0.22 | 1.8 | 3.0 | C1 | 68 | 70 | 326 | 60 | 15 | 2 | 108 | 37 |
| 16 | 860713 | 1527 | 8.60 | 32-57.85 | 117-43.05 | 5.00* | 3.3 | 25 | 186 | 50.1 | 0.21 | 1.1 | 3.0 | C1 | 75 | 43 | 328 | 70 | 205 | 20 | 103 | 48 |
| 17 | 860713 | 1550 | 5.79 | 32-53.19 | 117-43.73 | 5.00* | 3.7 | 29 | 176 | 55.3 | 0.22 | 1.0 | 3.0 | C1 | 226 | 90 | 316 | 70 | 1 | 14 | 91 | 12 |
| 18 | 860713 | 2353 | 43.82 | 32-58.71 | 117-44.69 | 5.00* | 3.6 | 33 | 182 | 51.8 | 0.24 | 1.1 | 2.8 | C1 | 304 | 45 | 304 | 35 | 34 | 0 | 215 | 90 |
| 19 | 860714 | 032 | 46.96 | 32-59.17 | 117-47.01 | 5.00* | 4.0 | 31 | 170 | 54.1 | 0.24 | 1.0 | 2.9 | C1 | 306 | 30 | 108 | 60 | 24 | 12 | 180 | 73 |
| 20 | 860714 | 111 | 11.16 | 32-57.54 | 117-49.18 | 5.00* | 3.7 | 30 | 186 | 58.2 | 0.25 | 1.1 | 3.2 | C1 | 58 | 60 | 311 | 60 | 5 | 0 | 95 | 42 |
| 21 | 860714 | 717 | 36.01 | 32-58.07 | 117-47.84 | 5.00* | 3.6 | 25 | 184 | 56.4 | 0.23 | 1.1 | 3.3 | C1 | 55 | 90 | 325 | 90 | 10 | 0 | 100 | 0 |
| 22 | 860714 | 1444 | 9.29 | 32-59.00 | 117-48.85 | 5.00* | 3.7 | 23 | 183 | 55.6 | 0.23 | 1.1 | 3.4 | C1 | 305 | 40 | 279 | 55 | 22 | 5 | 135 | 77 |
| 23 | 860716 | 1247 | 2.07 | 32-56.84 | 117-49.04 | 5.00* | 3.7 | 27 | 187 | 59.3 | 0.20 | 1.0 | 2.8 | C1 | 79 | 80 | 334 | 40 | 18 | 35 | 133 | 42 |
| 24 | 860728 | 254 | 46.58 | 32-56.89 | 117-48.24 | 5.00* | 3.6 | 25 | 186 | 58.2 | 0.31 | 1.2 | 3.7 | D1 | 13 | 75 | 78 | 50 | 55 | 60 | 311 | 8 |
| 25 | 860729 | 817 | 42.40 | 32-56.27 | 117-49.05 | 5.00* | 4.3 | 30 | 188 | 59.9 | 0.19 | 0.8 | 2.4 | C1 | 65 | 8 | 343 | 50 | 12 | 32 | 121 | 20 |
| 26 | 860730 | 2251 | 13.73 | 32-59.99 | 117-47.03 | 5.00* | 3.9 | 26 | 180 | 52.7 | 0.22 | 1.0 | 3.2 | C1 | 59 | 90 | 329 | 70 | 12 | 20 | 105 | 20 |
| 27 | 860815 | 1845 | 17.37 | 32-58.26 | 117-47.64 | 5.00* | 3.7 | 26 | 183 | 65.7 | 0.60 | 3.0 | 11.6 | D1 | 308 | 30 | 105 | 60 | 24 | 10 | 167 | 70 |
| 28 | 860826 | 1911 | 50.66 | 32-55.47 | 117-49.72 | 5.00* | 3.5 | 23 | 177 | 61.5 | 0.16 | 0.9 | 2.4 | C1 | 90 | 55 | 65 | 60 | 28 | 50 | 120 | 5 |
| 29 | 860930 | 952 | 12.74 | 33-0.15 | 117-46.50 | 5.00* | 3.9 | 27 | 181 | 53.5 | 0.25 | 1.1 | 3.3 | C1 | 303 | 30 | 115 | 60 | 28 | 15 | 191 | 72 |
| 30 | 861001 | 2012 | 19.12 | 32-58.79 | 117-49.94 | 5.00* | 4.0 | 25 | 185 | 59.4 | 0.19 | 0.8 | 2.6 | C1 | 303 | 30 | 104 | 60 | 21 | 13 | 165 | 72 |
| 31 | 861029 | 238 | 16.11 | 32-38.30 | 117-7.36 | 5.00* | 4.1 | 28 | 146 | 20.9 | 0.35 | 1.7 | 3.0 | C1 | 49 | 90 | 319 | 90 | 4 | 0 | 94 | 0 |
| 32 | 870410 | 823 | 49.24 | 32-57.32 | 117-50.38 | 5.00* | 3.4 | 23 | 188 | 69.7 | 0.20 | 0.9 | 3.1 | C1 | 49 | 65 | 397 | 60 | 170 | 0 | 78 | 45 |
| 33 | 880105 | 93 | 13.60 | 33-3.88 | 117-51.92 | 5.00* | 3.7 | 38 | 141 | 60.0 | 0.30 | 1.0 | 3.9 | C1 | 314 | 30 | 114 | 60 | 31 | 12 | 175 | 71 |

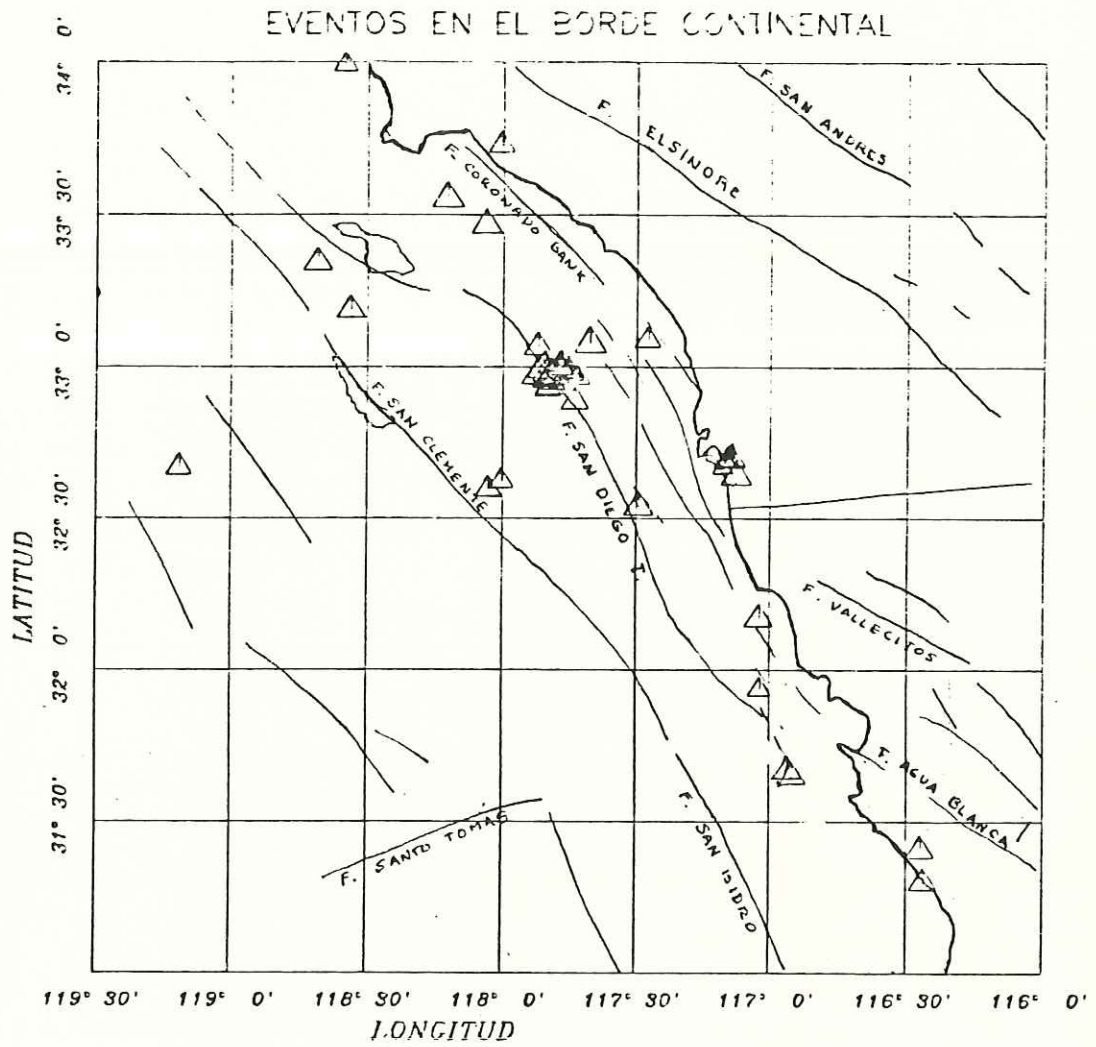


Fig.17. Determinaciones epicentrales de los eventos ubicados en el Borde Continental. Se incluyen los ocurridos desde 1981 hasta diciembre de 1987 entre las latitudes 31°N y 34°N, las localizaciones son de eventos de calidad buena, moderada y mala, en la solución del mecanismo focal.

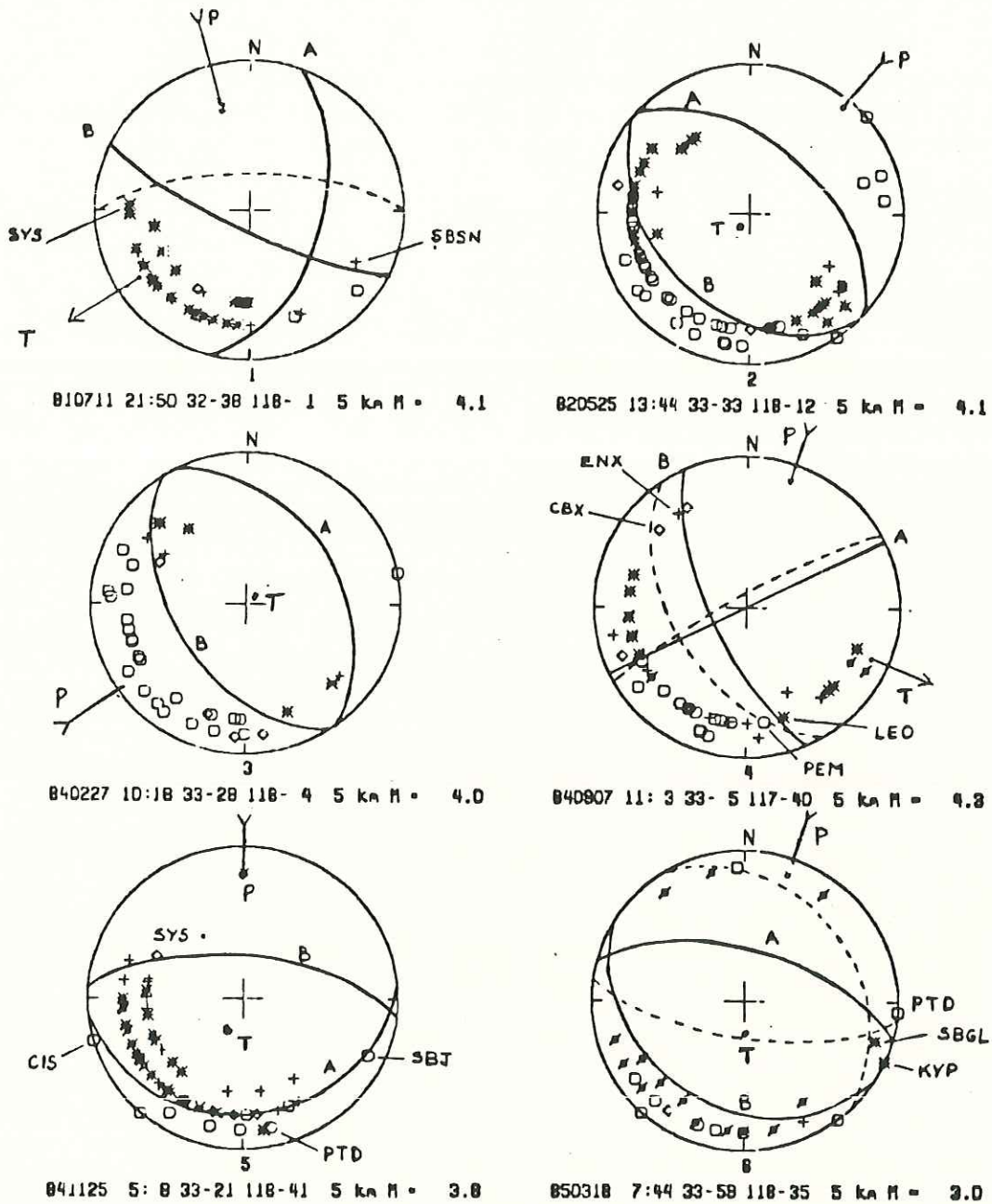


Fig.18 Mecanismos focales de los eventos localizados en el Borde Continental. Los ejes T y P denotan los ejes de máximos esfuerzos de tensión y compresión respectivamente. Se anotan las estaciones críticas en la solución. Se incluyen los casos de calidad buena y moderada. Los de mala calidad aparecen en el apéndice. Las compresiones se indican con * y +, las dilataciones con o y ◊.

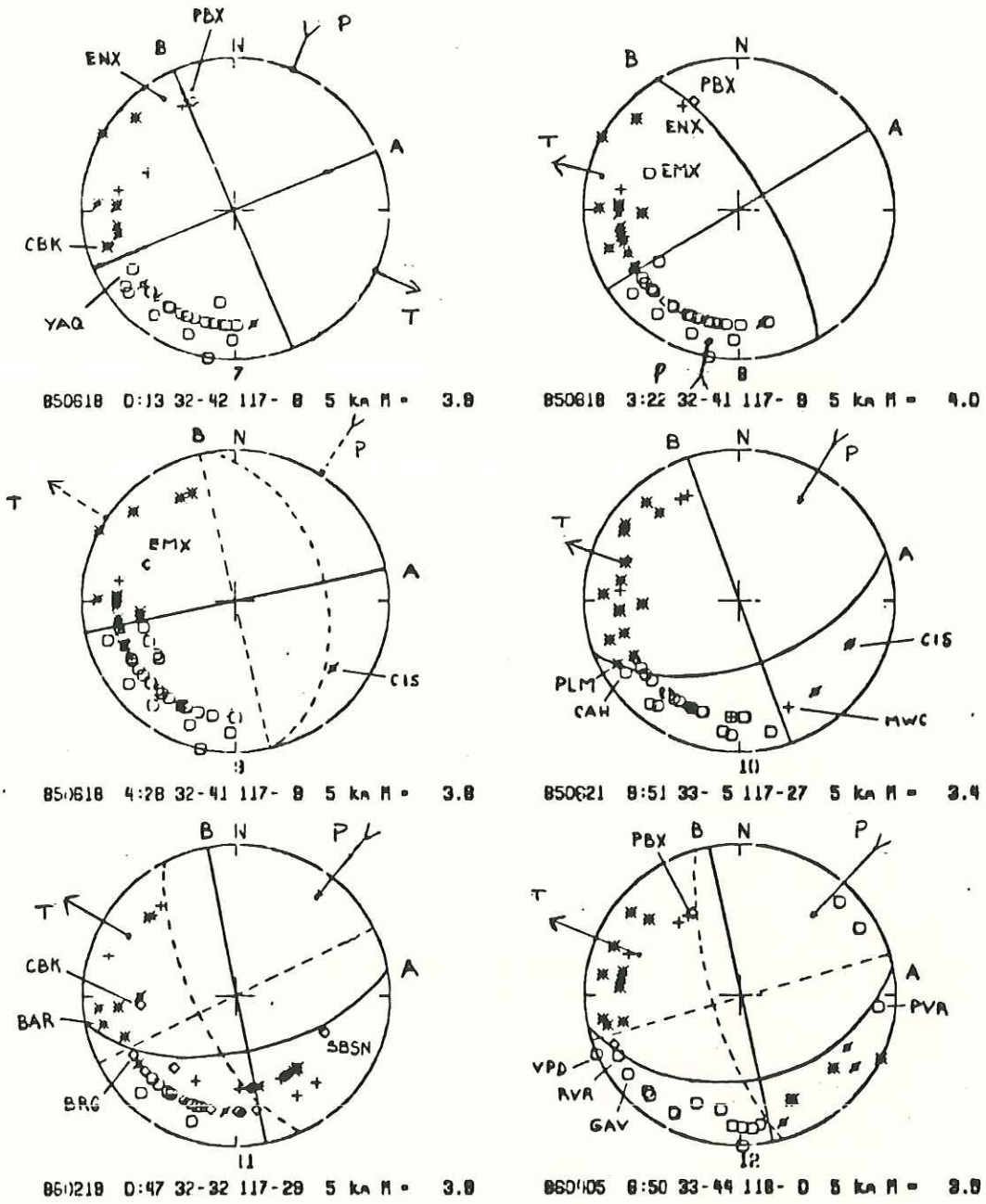


Fig.18 (continuación)

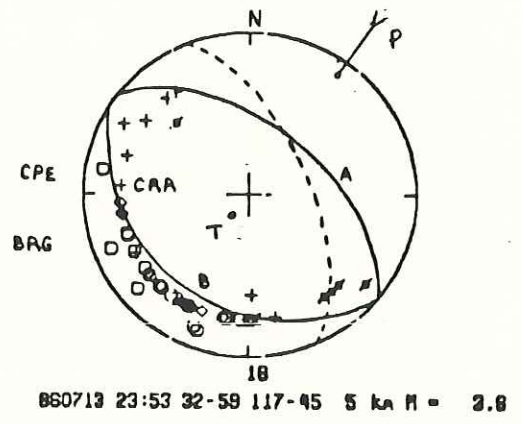
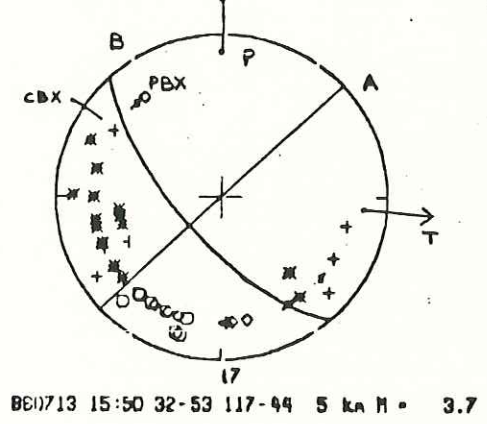
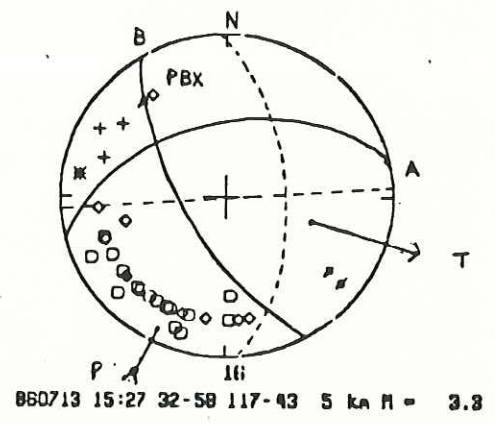
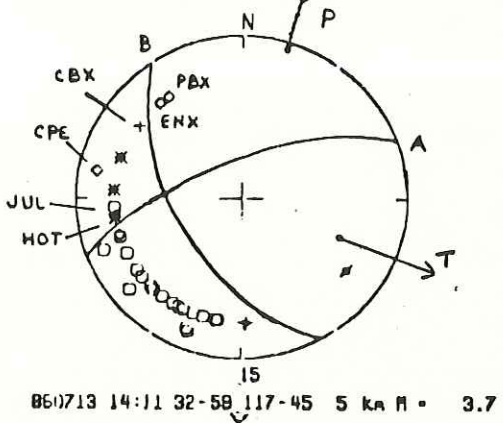
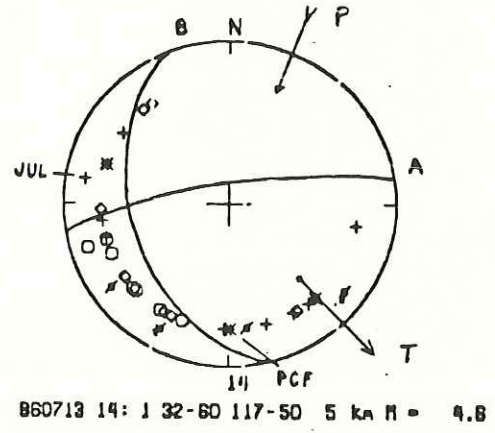
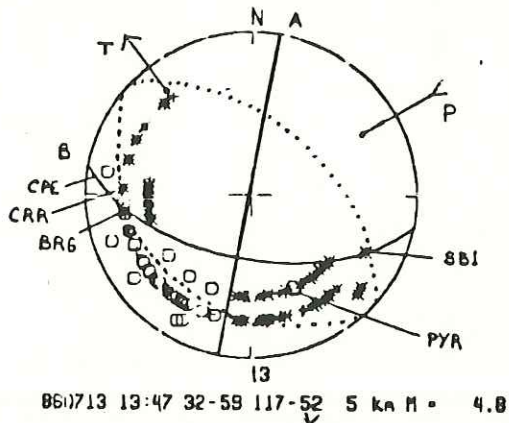


Fig.18 (continuación)

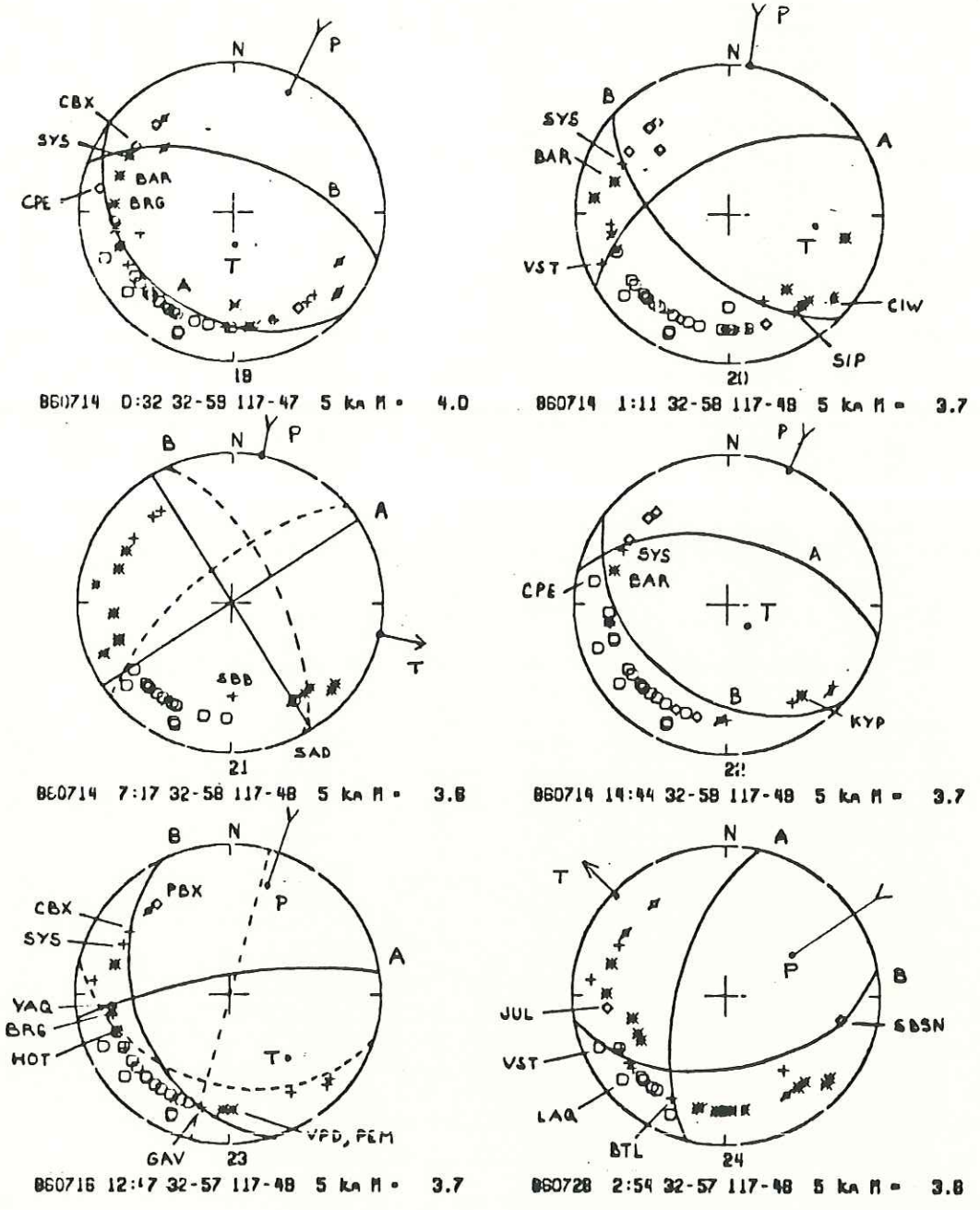


Fig.18 (continuación)

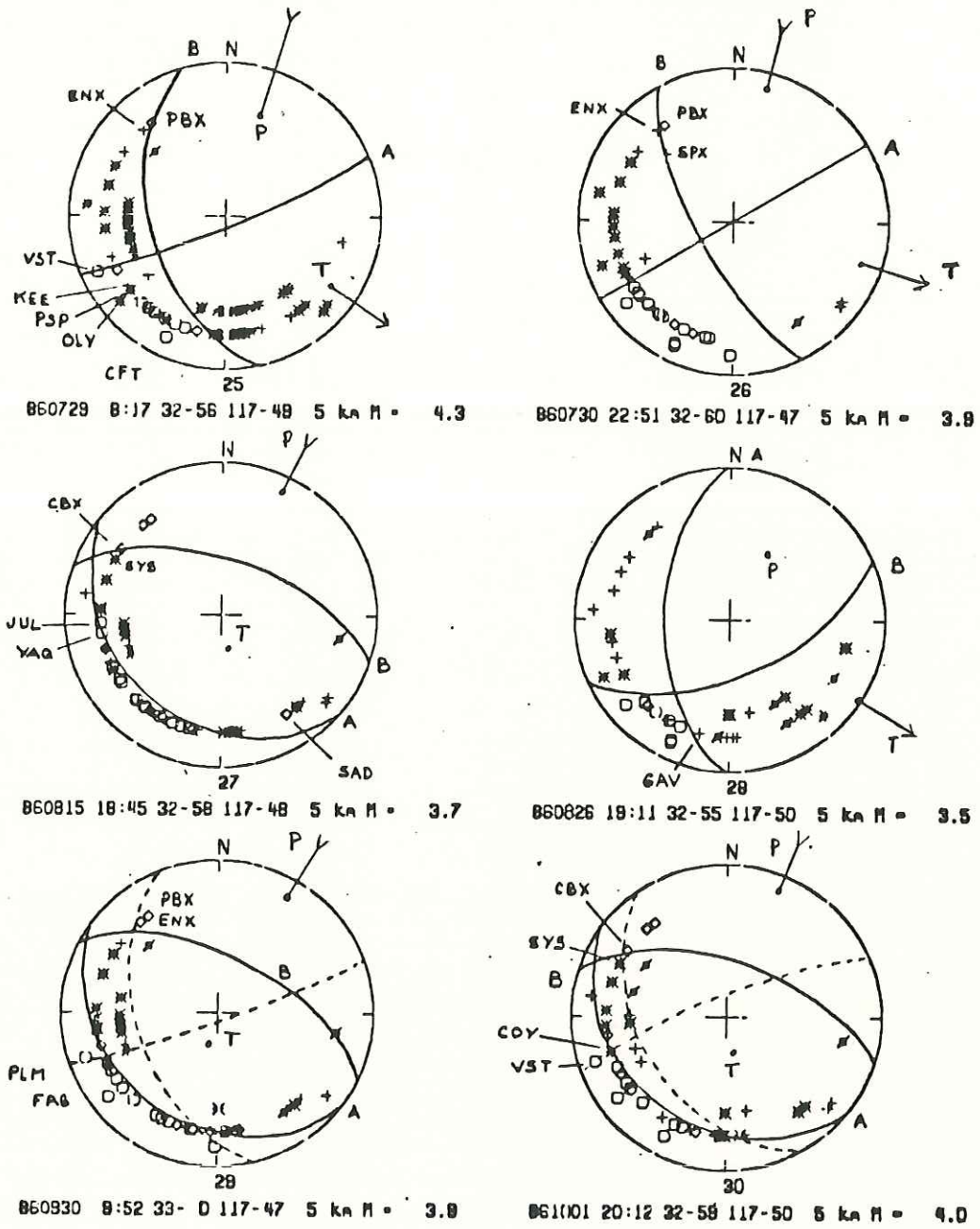


Fig.18 (continuación)

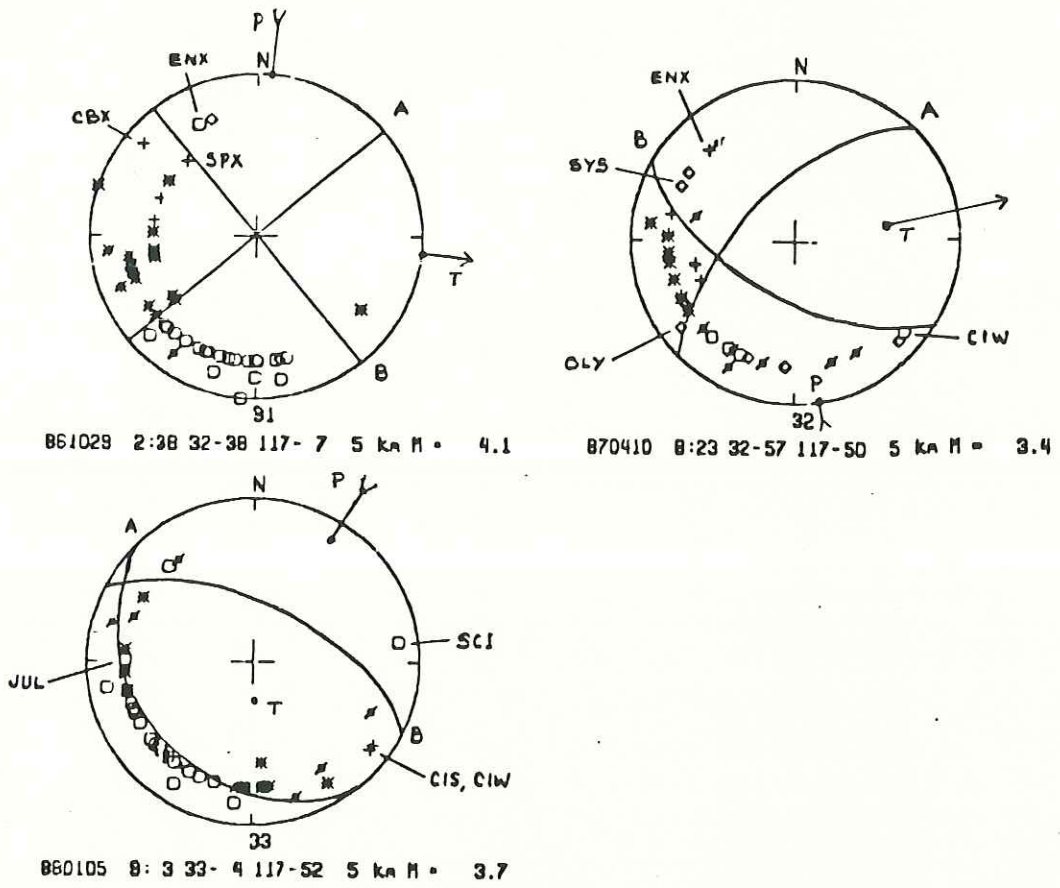


Fig.18 (continuación)

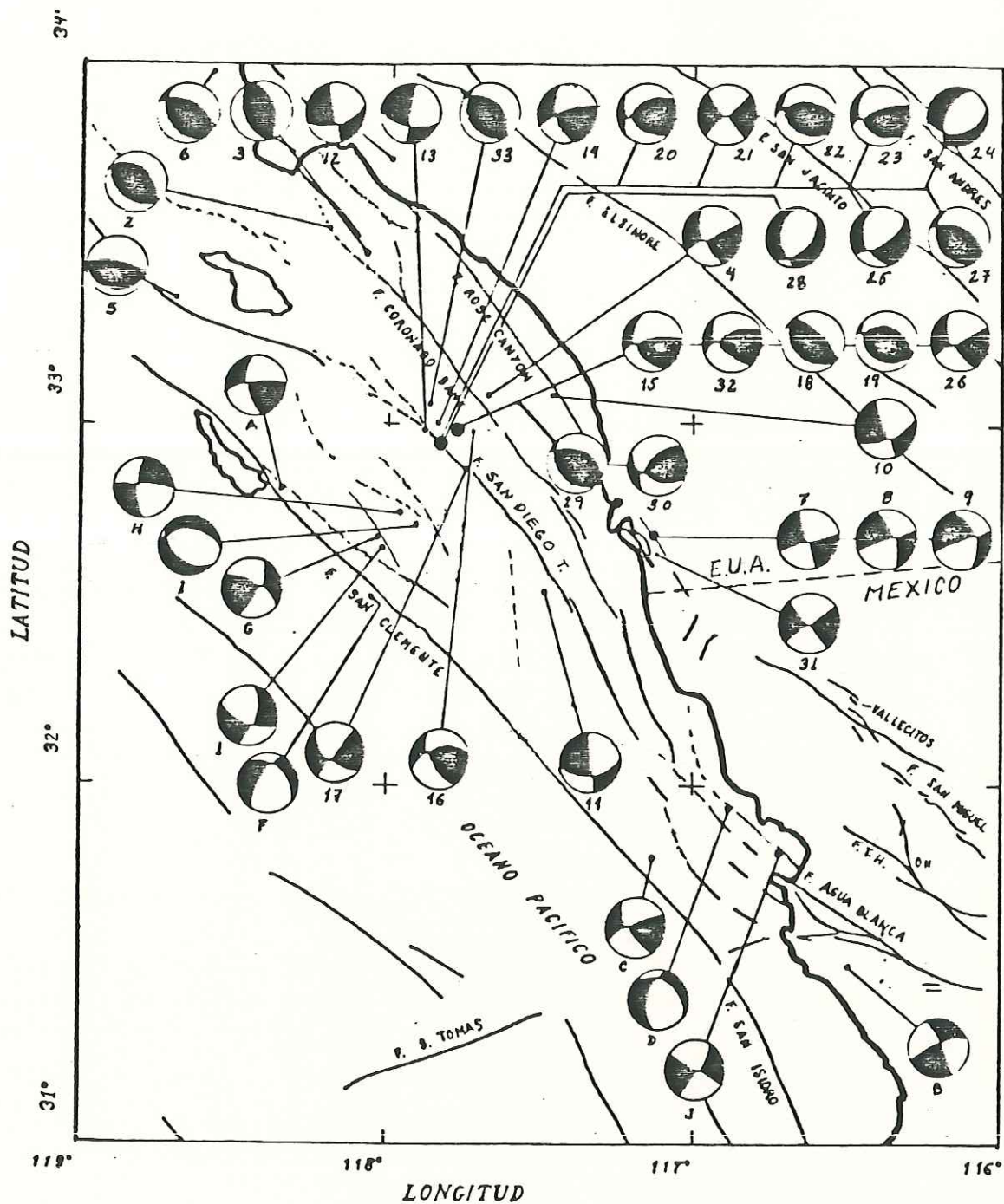


Fig.19 Determinación de mecanismos focales para la región del Borde Continental. Los números corresponden al número de la solución en la Figura 18. Las soluciones indicadas con las letras de la A a la I corresponden a las soluciones de Legg (1985), la solución con letra J corresponde al estudio de González y Suárez (1984).

contribuyen significativamente en la definición de la solución ya que por su localización, aumentan la cobertura azimutal del epicentro. Sin embargo, esta cobertura es una fuerte limitante de la solución ya que, aún en los mejores casos, difícilmente se alcanza a cubrir, en azimut, las tres cuartas partes de la proyección. Todos los casos, con excepción del #32, son de magnitud mayor a 3.5. A continuación se presenta la lista de los sismos que se consideran dentro de esta categoría.

| | | |
|-----|--------|-------|
| #2 | 820525 | 13:44 |
| #3 | 840227 | 10:18 |
| #5 | 841125 | 05:08 |
| #7 | 850618 | 00:13 |
| #8 | 850618 | 03:22 |
| #14 | 860713 | 14:01 |
| #17 | 860713 | 15:52 |
| #19 | 860714 | 00:32 |
| #20 | 860714 | 01:11 |
| #22 | 860714 | 14:44 |
| #24 | 860728 | 02:54 |
| #25 | 860729 | 08:17 |
| #26 | 860730 | 22:51 |
| #27 | 860815 | 18:45 |
| #28 | 860826 | 19:11 |

#31 861029 02:38

#32 870410 08:23

#33 880105 09:03

Eventos de calidad moderada:

#1 - 810711 21:50. El mecanismo está definido por la línea continua e indica un desplazamiento principalmente de rumbo. Esta solución es apoyada por la compresión leída en la estación SBSN. Sin embargo, esta compresión es de pequeña amplitud y podría representar más bien una onda refractada crítica (onda Pn). Este tipo de ondas no son muy confiables en el cálculo del mecanismo ya que el ángulo de salida de estas ondas por lo regular no está bien determinado. Debido a lo anterior, uno de los planos tiene una incertidumbre de unos 25° (línea quebrada).

#4 - 840907 11:03. Solución bien constreñida por las lecturas de LEO y PEM que definen los planos en línea continua. La otra solución (en línea quebrada) se propone debido a la contradicción en las estaciones ENX y CBX ya que en cualquiera de las soluciones se presenta una de las dos como contradictoria. Sin embargo, la variación entre ambas soluciones es pequeña y el tipo de mecanismo focal es aproximadamente el mismo.

#6 - 850318 07:44. Aunque no se tienen más que dos compresiones, la distribución azimutal de dilataciones permite hacer una estimación del tipo de mecanismo como inverso. Se propone una solución en línea continua y otra en línea quebrada. Se prefiere la primera debido a la distribución de amplitudes, en especial a la pequeña amplitud en SBLG.

#9 - 850618 04:28. Solución de rumbo donde no se tiene control en el echado del plano B (en línea quebrada). sin embargo, debido a la lectura de pequeña amplitud en CIS, se piensa que la solución no tienen variaciones extremas.

#10 - 850621 09:51. Mecanismo focal de rumbo. El plano B está controlado por las lecturas en MWC y CIS. Aunque el tipo de solución no puede variar mucho, el mecanismo depende bastante de la lectura en MWC.

#11 - 860219 00:47. Solución de rumbo que puede llegar a tener variaciones de unos 20° en el rumbo y el echado de los planos.

#12 - 860405 06:50. La solución es de rumbo con buena cobertura azimutal. La lectura de la estación PVR es crítica en la solución planteada. Al tratar de satisfacer este dato en la solución con línea continua, lo cual no es

totalmente posible, nos lleva a dejar PBX fuera de la misma. Por el contrario, ajustar la lectura de PBX con la otra solución, no permite que PVR quede dentro del cuadrante de dilataciones. Entre esta disyuntiva se prefiere la solución en línea continua ya que la lectura en PBX es de pequeña amplitud mientras que la de PVR es claramente una dilatación de amplitud considerable.

#13 - 860713 13:47. Esta solución pertenece al sismo principal de Oceanside. $M = 4.8$. El mecanismo es de rumbo, bien controlado y con buena cobertura azimutal. Es posible que las contradicciones que se observan en CPE y BRG se deban a la no adecuación del modelado. La solución obtenida aquí no coincide con la obtenida por Hauksson y Jones (1988) que se indica en la figura con los planos en línea punteada. Esto es discutido en la sección III.2.5.

#15 - 860713 14:11. Solución de rumbo que está bien controlada por las estaciones ENX, PBX y CBX. Sin embargo, en uno de los cuadrantes de compresiones se presentan contradicciones (CPE y JUL) que no se pudieron ajustar.

#16 - 860713 15:27. Solución no bien constreñida debido a que el trazo del plano B se define solamente con el dato de la estación PBX. La solución en línea continua está apoyada en la lectura en PBX, sin embargo, esta lectura es

de amplitud pequeña y tiene poco peso. Por lo tanto, a falta de más datos, se sugiere el segundo mecanismo (línea quebrada). De las dos soluciones, se prefiere la primera por contar con la lectura en PBX.

#18 - 860713 23:53. Solución inversa bien constreñida en el plano B. Debido a la falta de datos que determinen el plano A, se tiene una variación de unos 25° en el rumbo del mismo (línea quebrada).

#21 - 860714 07:17. Solución de mecanismo de rumbo que puede llegar a variar en unos 10° en rumbo y echado. La estación SAD es crítica para definir la solución.

#23 - 860716 12:47. En este caso se tienen dos posibles soluciones que son muy distintas. La solución en línea continua se apoya en la lectura de PBX y en las amplitudes de CBX y SYS. Las lecturas en BRG y HOT son contradicciones que no se pueden solucionar en este caso. La solución en línea quebrada no toma en cuenta a PBX, pero trata de incluir dentro de ella a BRG y a HOT. Se prefiere la primera solución debido a que PBX presenta un comportamiento consistente en todos los eventos de la misma secuencia.

#29 - 860826 19:11. Este evento presenta dos

soluciones entre las cuales la solución en línea continua se prefiere ya que se ajusta mejor a los datos. La solución en línea quebrada es contradictoria con el dato de PLM.

#30 - 861001 20:12. La solución del mecanismo de este evento es muy similar a la anterior y, como ésta, también presenta variaciones. Hauksson y Jones (1987) prefieren usar la solución en línea quebrada pero si observamos las amplitudes de CBX, SYS, COY, y VST, se observa que se satisface mejor la solución en línea continua.

Eventos de mala calidad:

Las gráficas de las soluciones son mostradas en el apéndice y la lista de casos se da en la Tabla VIII. Se encontraron 14 eventos de este tipo, contra 33 de calidad buena (18) y moderada (15). En tres de los casos de mala calidad, caben al menos dos soluciones sin que se tenga certeza sobre cual sea la adecuada; el resto de los casos no contienen suficientes datos para establecer una solución. La mitad de estos casos son de magnitud inferior a 3.5.

III.2.4. - Dirección de los Ejes T y P.

En promedio, para las soluciones de rumbo, el eje de

TABLA VIII

EVENTOS DE MALA CALIDAD EN LA SOLUCION DEL MECANISMO FOCAL

BORDE CONTINENTAL

| # | FECHA | HRMN | SEG | LATITUD | LONGITUD | PROF | MAG | N | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|----|--------|------|-------|----------|-----------|-------|-----|----|-----|------|------|------|------|----|
| 1 | 820128 | 144 | 15.33 | 32-40.04 | 119-11.28 | 5.00* | 3.4 | 3 | 293 | 70.6 | 0.03 | | | C1 |
| 2 | 850419 | 355 | 51.71 | 32-10.14 | 117- 2.16 | 5.00* | 3.8 | 17 | 219 | 38.7 | 0.19 | 1.7 | 3.7 | C1 |
| 3 | 850616 | 1026 | 59.42 | 32-57.91 | 117-49.31 | 5.00* | 3.9 | 24 | 193 | 57.7 | 0.27 | 1.5 | 5.2 | D1 |
| 4 | 850618 | 2151 | 38.83 | 32-40.02 | 117-10.26 | 5.00* | 2.9 | 19 | 194 | 24.5 | 0.24 | 2.3 | 2.5 | C1 |
| 5 | 850619 | 1120 | 39.71 | 32-41.50 | 117- 7.95 | 5.00* | 2.9 | 30 | 150 | 21.1 | 0.47 | 2.3 | 3.4 | C1 |
| 6 | 850619 | 1137 | 37.96 | 32-41.05 | 117- 9.67 | 5.00* | 2.9 | 28 | 152 | 22.5 | 0.34 | 1.7 | 2.4 | C1 |
| 7 | 851104 | 15 9 | 27.63 | 32-35.76 | 118- 3.05 | 5.00* | 3.4 | 8 | 236 | 94.6 | 0.24 | 4.5 | | D1 |
| 8 | 860506 | 340 | 25.56 | 31-40.01 | 116-55.87 | 5.00* | 3.8 | 4 | 313 | 21.2 | 0.05 | | | C1 |
| 9 | 870227 | 22 5 | 58.68 | 31-56.21 | 117- 2.01 | 5.00* | 3.1 | 7 | 243 | 35.4 | 0.84 | 6.0 | 16.7 | D1 |
| 10 | 870315 | 1744 | 8.21 | 32-37.34 | 118- 0.07 | 5.00* | 3.3 | 11 | 215 | 64.7 | 0.19 | 2.5 | 8.2 | D1 |
| 11 | 870513 | 2130 | 4.64 | 31-17.85 | 116-26.05 | 5.00* | 3.6 | 4 | 224 | 56.5 | 0.12 | | | C1 |
| 12 | 871027 | 055 | 6.63 | 31-24.28 | 116-26.74 | 5.00* | 3.7 | 8 | 212 | 45.9 | 0.86 | 16.4 | 31.2 | D1 |
| 13 | 841006 | 1648 | 34.79 | 31-38.89 | 116-54.83 | 5.00* | 3.7 | 8 | 293 | 20.7 | 0.15 | 7.5 | 5.9 | D1 |
| 14 | 851110 | 325 | 16.73 | 33-11.07 | 118-33.56 | 5.00* | 3.6 | 12 | 240 | 28.6 | 0.23 | 3.5 | 3.1 | D1 |

SIERRAS PENINSULARES

| # | FECHA | HRMN | SEG | LATITUD | LONGITUD | PROF | MAG | N | GAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|----|--------|------|-------|----------|-----------|-------|-----|----|-----|-------|------|-----|------|----|
| 1 | 820528 | 13 3 | 56.18 | 31-12.24 | 115-53.30 | 9.00* | 4.1 | 3 | 338 | 99.4 | 1.90 | | | D1 |
| 2 | 821210 | 037 | 50.60 | 31-31.91 | 116-13.10 | 9.00* | 3.8 | 5 | 314 | 53.5 | 0.26 | 9.3 | 23.8 | D1 |
| 3 | 821215 | 553 | 5.53 | 31-28.38 | 115-33.85 | 9.00* | 3.6 | 5 | 292 | 113.8 | 0.08 | 4.7 | 10.6 | D1 |
| 4 | 830117 | 5 0 | 28.32 | 31-29.58 | 115-32.30 | 9.00* | 3.5 | 23 | 151 | 40.9 | 0.75 | 3.4 | 4.0 | D1 |
| 5 | 830818 | 2117 | 52.43 | 31-41.01 | 115-55.58 | 9.00* | 3.8 | 16 | 186 | 73.3 | 0.49 | 3.3 | 11.3 | D1 |
| 6 | 831119 | 954 | 55.09 | 31-51.61 | 116-15.79 | 9.00* | 3.8 | 11 | 292 | 88.7 | 0.16 | 6.8 | 6.5 | D1 |
| 7 | 831129 | 11 2 | 34.31 | 31-39.86 | 115-53.26 | 9.00* | 3.8 | 10 | 142 | 77.4 | 0.11 | 1.0 | 6.7 | D1 |
| 8 | 831202 | 19 8 | 57.53 | 31-48.27 | 116- 2.95 | 9.00* | 3.2 | 11 | 129 | 58.9 | 0.16 | 1.3 | 5.7 | D1 |
| 9 | 840424 | 1547 | 51.58 | 31-57.36 | 116-19.05 | 9.00* | 3.4 | 16 | 271 | 79.3 | 0.35 | 1.2 | 2.4 | D1 |
| 10 | 840425 | 1818 | 6.12 | 31-31.14 | 115-40.02 | 9.00* | 3.4 | 13 | 255 | 65.8 | 0.41 | 9.1 | 16.2 | D1 |
| 11 | 840814 | 1529 | 29.75 | 32- 2.32 | 115-39.45 | 9.00* | 3.2 | 8 | 257 | 68.0 | 0.17 | 3.2 | 6.8 | D1 |
| 12 | 840904 | 1035 | 17.15 | 31-48.11 | 115-47.22 | 9.00* | 3.7 | 9 | 238 | 83.6 | 0.17 | 3.8 | 12.0 | D1 |

TABLA VIII (continuación)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|--------|------|-------|----------|-----------|-------|-----|----|-----|-------|--------|------|------|----|
| 13 | 841107 | 13 2 | 15.47 | 31-53.34 | 116- 6.24 | 9.00* | 3.7 | 21 | 202 | 53.0 | 0.93 | 4.4 | 13.7 | D1 |
| 14 | 841107 | 1422 | 53.82 | 31-54.05 | 116- 6.80 | 9.00* | 3.6 | 15 | 200 | 52.2 | 0.28 | 2.3 | 6.6 | D1 |
| 15 | 841107 | 1427 | 37.73 | 31-54.57 | 116- 7.45 | 9.00* | 3.7 | 15 | 198 | 51.2 | 0.21 | 1.5 | 4.5 | C1 |
| 16 | 841129 | 1555 | 42.51 | 31-50.46 | 116- 5.41 | 9.00* | 3.6 | 18 | 221 | 54.5 | 0.27 | 1.4 | 4.4 | C1 |
| 17 | 841209 | 1856 | 25.06 | 31-59.18 | 116-14.06 | 9.00* | 3.3 | 25 | 191 | 42.3 | 0.31 | 1.1 | 3.2 | D1 |
| 18 | 850127 | 15 6 | 57.94 | 31-55.03 | 116-23.01 | 9.00* | 3.4 | 22 | 178 | 26.9 | 0.36 | 1.6 | 5.0 | C1 |
| 19 | 850202 | 340 | 0.72 | 31-48.44 | 115-58.29 | 9.00* | 3.4 | 11 | 221 | 66.2 | 0.17 | 2.3 | 7.4 | D1 |
| 20 | 850508 | 920 | 57.24 | 31-53.21 | 115-49.57 | 9.00* | 3.1 | 13 | 181 | 56.4 | 0.37 | 3.9 | 16.4 | D1 |
| 21 | 850508 | 2351 | 51.93 | 31-55.27 | 115-52.91 | 9.00* | 3.0 | 16 | 271 | 80.6 | 0.26 | 5.4 | 7.1 | D1 |
| 22 | 850509 | 160 | 10.79 | 31-55.40 | 115-49.83 | 9.00* | 3.8 | 17 | 207 | 80.8 | 0.39 | 2.7 | 9.8 | D1 |
| 23 | 850625 | 1850 | 17.79 | 31-39.87 | 115-55.43 | 9.00* | 3.8 | 9 | 281 | 109.0 | 0.19 | 10.1 | 16.1 | D1 |
| 24 | 850625 | 2026 | 19.14 | 31-45.01 | 115-56.67 | 9.00* | 3.8 | 11 | 276 | 99.5 | 0.22 | 2.8 | 8.1 | D1 |
| 25 | 850806 | 1253 | 57.20 | 31-41.19 | 115-56.71 | 9.00* | 4.2 | 11 | 238 | 71.5 | 0.12 | 2.3 | 6.2 | D1 |
| 26 | 850926 | 253 | 38.96 | 31-54.95 | 115-51.94 | 9.00* | 3.6 | 17 | 196 | 75.7 | 0.25 | 2.4 | 5.9 | D1 |
| 27 | 860207 | 0 9 | 24.23 | 31-53.05 | 115-50.39 | 9.00* | 4.3 | 14 | 201 | 78.0 | 0.31 | 3.1 | 8.7 | D1 |
| 28 | 860207 | 040 | 4.19 | 31-53.30 | 115-50.50 | 9.00* | 4.2 | 16 | 211 | 77.8 | 0.31 | 2.9 | 8.8 | D1 |
| 29 | 860228 | 1528 | 43.26 | 31-52.10 | 115-48.53 | 9.00* | 4.3 | 15 | 114 | 81.0 | 0.22 | 1.1 | 7.7 | D1 |
| 30 | 860527 | 049 | 38.13 | 31-39.51 | 116-24.33 | 9.00* | 3.9 | 9 | 160 | 31.7 | 2.03 | 12.3 | 26.2 | D1 |
| 31 | 860629 | 15 0 | 11.26 | 31-58.06 | 116-19.54 | 9.00* | 3.6 | 12 | 118 | 33.4 | 0.23 | 2.5 | 6.6 | C1 |
| 32 | 861017 | 028 | 47.35 | 31-44.97 | 116-10.86 | 9.00* | 3.4 | 13 | 48 | 130 | 1 0.38 | 3.2 | 11.1 | C |
| 33 | 870513 | 045 | 36.68 | 31-42.27 | 115-58.41 | 9.00* | 3.3 | 13 | 127 | 68.4 | 0.19 | 1.6 | 8.2 | D1 |
| 34 | 871129 | 13 0 | 38.56 | 31-50.66 | 115-48.61 | 9.00* | 4.1 | 19 | 122 | 80.9 | 0.28 | 0.9 | 3.7 | C1 |

CUENCA DEL SALTON

| # | FECHA | HRMN | SEG | LATITUD | LONGITUD | PROF | MAG | N | CAP | DMIN | RMS | ERH | ERZ | QM |
|---|--------|------|-------|----------|-----------|-------|-----|----|-----|------|--------|-----|------|----|
| 1 | 870209 | 338 | 55.67 | 32-23.88 | 115-21.64 | 2.76 | 3.7 | 16 | 137 | 10.7 | 0.21 | 0.9 | 2.9 | C1 |
| 2 | 871124 | 1850 | 40.54 | 33- 0.24 | 115-52.58 | 7.00* | 3.7 | 16 | 89 | 16.4 | 0.30 | 1.1 | 1.7 | C1 |
| 3 | 871124 | 1436 | 30.05 | 33- 2.91 | 115-49.44 | 5.00* | 3.6 | 26 | 13 | 55 | 1 0.52 | 1.5 | 2.7 | D1 |
| 1 | 840930 | 2116 | 13.60 | 32-30.99 | 115-16.24 | 7.00* | 3.6 | 12 | 237 | 36.4 | 0.11 | 1.6 | 18.7 | D1 |
| 2 | 850201 | 1459 | 19.50 | 32-21.50 | 115- 7.35 | 7.00* | 3.0 | 15 | 271 | 18.3 | 0.38 | 3.6 | 2.2 | D1 |
| 3 | 860623 | 2346 | 7.00 | 32- 2.77 | 115- 6.49 | 7.00* | 4.4 | 4 | 295 | 37.1 | 0.02 | | | C1 |
| 4 | 860907 | 1 3 | 31.64 | 32-27.14 | 115- 5.47 | 7.00* | 3.3 | 12 | 149 | 15.5 | 0.08 | 1.1 | 2.8 | C1 |
| 5 | 860907 | 417 | 38.08 | 32-28.06 | 115- 5.30 | 7.00* | 3.1 | 10 | 229 | 44.0 | 0.09 | 1.7 | 24.5 | D1 |
| 6 | 860907 | 640 | 10.40 | 32-27.89 | 115- 4.91 | 7.00* | 3.4 | 13 | 226 | 44.4 | 0.09 | 1.2 | 17.9 | D1 |
| 7 | 870420 | 1859 | 4.28 | 32- 7.12 | 114-53.54 | 7.00* | 3.0 | 7 | 262 | 46.3 | 0.07 | 1.4 | 14.7 | D1 |
| 8 | 870515 | 5 8 | 13.85 | 31-57.21 | 114-55.54 | 7.00* | 3.3 | 5 | 287 | 54.7 | 0.05 | 3.1 | 31.1 | D1 |
| 1 | 840426 | 2244 | 16.23 | 32-45.81 | 115-25.31 | 10.49 | 3.6 | 8 | 128 | 16.3 | 0.09 | 0.6 | 0.9 | B1 |

compresión P se orienta hacia el $N30^{\circ}E$ y el eje T hacia el $S60^{\circ}W$ aproximadamente (#1, Fig. 40). Ambos ejes presentan poco ángulo en el echado. El plano B de estas soluciones se orienta, en promedio, hacia el $N20^{\circ}W$. En los eventos con soluciones de mecanismo de echado (#2, Fig. 40), el eje P se orienta (con muy poco ángulo de echado) hacia el $N20^{\circ}W$. El eje T presenta bastante ángulo en el echado y tiende a agruparse en el centro de la proyección. Esta distribución refleja que los mecanismos son preferentemente inversos y que el plano de falla tiende a orientarse hacia el $N60^{\circ}W$. En la Figura 40, #2, ésto se ilustra graficando el tipo de solución de que satisface mejor la orientación promedio de los ejes. Se incluyeron en la elaboración de estas dos figuras, las soluciones obtenidas por Hauksson y Jones (1988) que no aparecen en esta Tesis.

III.2.5. - Descripción de Resultados.

Se obtuvieron un total de 33 soluciones de mecanismo focal para esta provincia. De estos sismos, destacan principalmente dos secuencias. La primera, localizada en la Bahía de San Diego (junio de 1985) incluye un sismo de magnitud 4.0 y se inicia con un preevento unas tres horas antes del sismo principal. El mecanismo focal de éste (#8, Fig. 18) es lateral-derecho, si se toma como plano de falla

el orientado hacia el NW, coincidiendo bastante bien con la orientación de la falla que se le puede asociar (Falla Rose Canyon). El plano presenta un ligero echado hacia el W-SW. Las réplicas estudiadas presentan mecanismos focales similares por lo que se infiere que el desplazamiento fue casi puramente de rumbo. La Falla Rose Canyon muestra, según análisis de perfiles de refracción sísmica, un desplazamiento principalmente de rumbo lateral-derecho (Legg et al, 1986) lo cual apoya la solución planteada.

La secuencia de Oceanside, ocurrida entre junio y octubre de 1986, se inició con un evento principal cuyo mecanismo es lateral-derecho, si se toma como plano de falla el orientado hacia el N-NW (#13, Fig. 18). Este evento ocurrió en el extremo norte del sistema de Fallas San Diego Trough-Bahía Soledad descrito por Legg et al, (1985) como de rumbo lateral-derecho. Las réplicas de esta secuencia tienen soluciones inversas y a rumbo. Solo se obtienen tres soluciones normales de un total de 19 estudiadas en la secuencia.

La orientación promedio de los ejes de esfuerzos para el Borde Continental es de $N25^{\circ}E$ para el eje de máximo esfuerzo compresional (Hauksson y Jones, 1988). Tal distribución de esfuerzos facilita la ocurrencia de rupturas de rumbo a lo largo de fallas orientadas hacia el NW e

inversas a lo largo de fallas orientadas hacia el EW (Fig. 40, #1 y 2). Parte de la explicación del fallamiento inverso se hace debido a que la falla de San Diego Trough se desvía hacia el oeste al acercarse a la Isla Catalina lo cual provoca que el tipo de deformación cambie de lateral a inverso (Hauksson y Jones, 1988). La interpretación geológica de los perfiles de refracción y datos de sonar indican un movimiento mayormente de rumbo en este sistema pero, localmente, en las intersecciones de la falla y otras discontinuidades, se han mapeado estructuras propias de procesos compresionales (Legg et al, 1985) que apoyan lo dicho anteriormente.

Hauksson y Jones (1987) proponen un mecanismo focal de tipo inverso para el evento principal de la secuencia de Oceanside (planos en línea quebrada de la Figura 18, #20). Esta solución no ajusta bien las observaciones de amplitud y de fase realizadas en este trabajo por lo que se prefiere la solución de rumbo obtenida en la Tesis. Por otro lado, en sus resultados ellos incluyen dos tipos de soluciones para el evento principal sin argumentar por qué dan preferencia a la de tipo inverso. Al incluir los datos de estaciones lejanas en este evento, se observan una gran cantidad de contradicciones (#2, Fig. 41). Los datos telesísmicos parecen favorecer la solución de Hauksson y Jones. Sin embargo, esto es difícil de interpretar ya que también se

presentan numerosas contradicciones.

El resto de los eventos que ocurrieron durante el periodo 1981-1987 más los aportados por la literatura (Fig. 20, 21, 22) son predominantemente de rumbo (7) e inversos (3). En menor proporción (5) ocurren también eventos con movimiento normal. Los eventos numerados con el 2, 3, 5 y 6 presentan soluciones de tipo inverso que se podrían asociar con cambios en la orientación de la falla asociada a cada uno de ellos. El evento marcado con una B pertenece a la solución de Legg, (1985) quien lo interpreta como un mecanismo lateral-izquierdo. Sin embargo, si tomamos en cuenta que la localización tiene un fuerte error en latitud debido a una poca cobertura azimutal del epicentro y, asociamos el evento a la Falla de Agua Blanca, se podría pensar que se trata de un mecanismo de rumbo lateral-derecho con un plano de falla hacia el WSW. Esto es más congruente con el carácter de rumbo lateral-derecho de dicha falla.

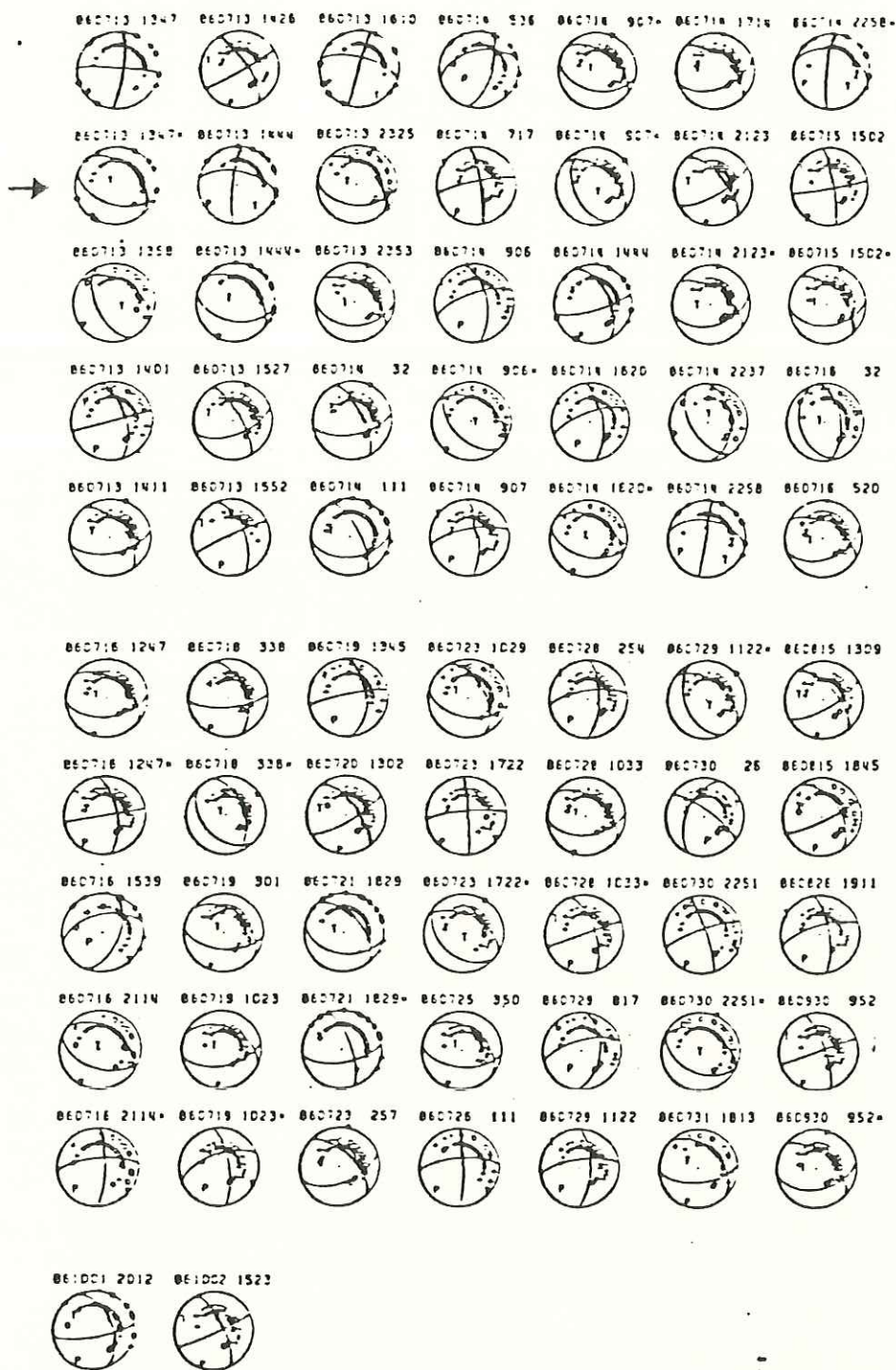


Fig.20 Soluciones de mecanismo focal determinadas por Hauksson y Jones (1988) para la secuencia de Oceanside de julio de 1986. La indicada con una flecha corresponde al evento principal de la secuencia.

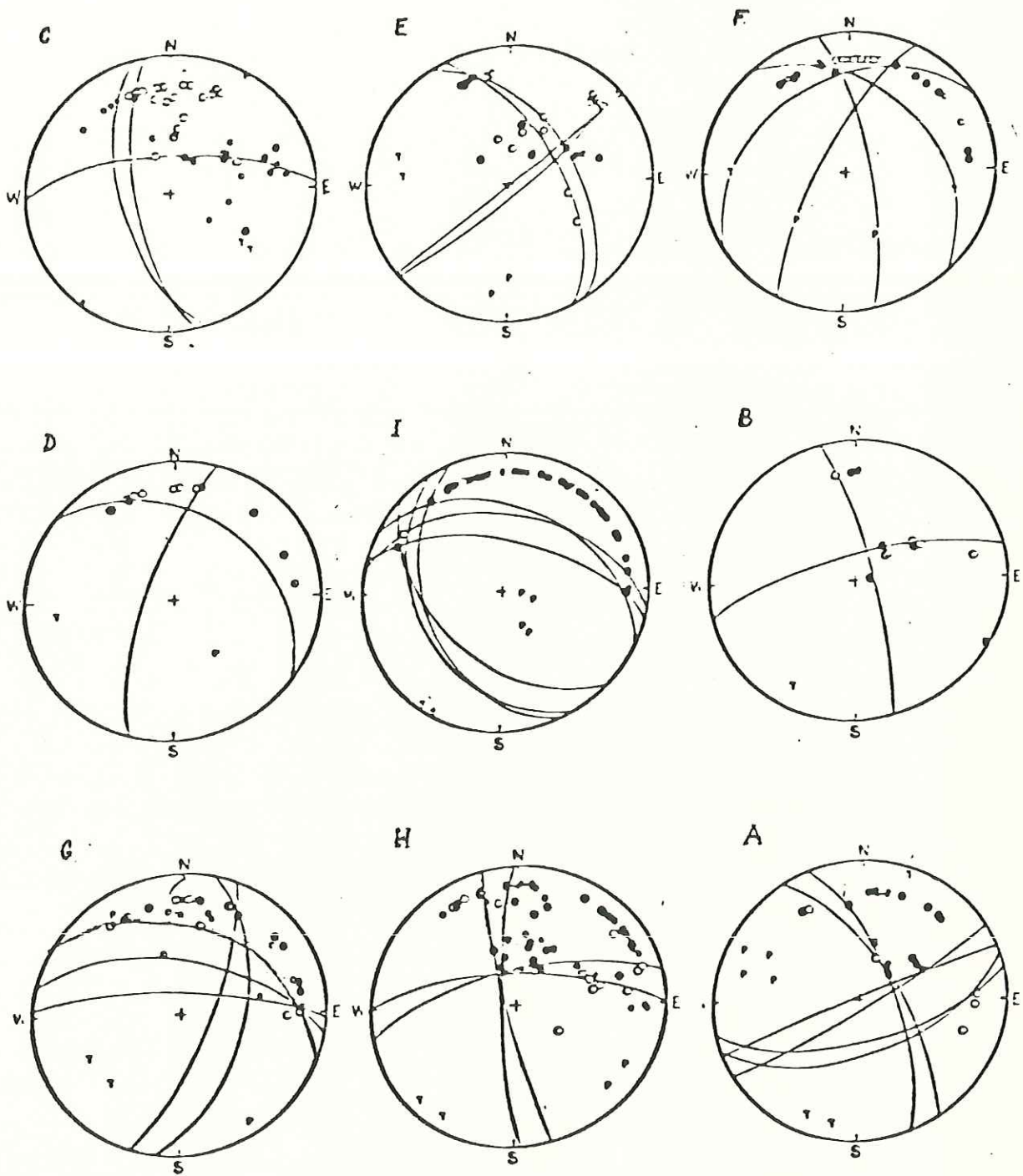


Fig.21 Soluciones de mecanismo focal de los eventos estudiados por Legg (1985) en el Borde Continental. Tomado de Legg (1985).

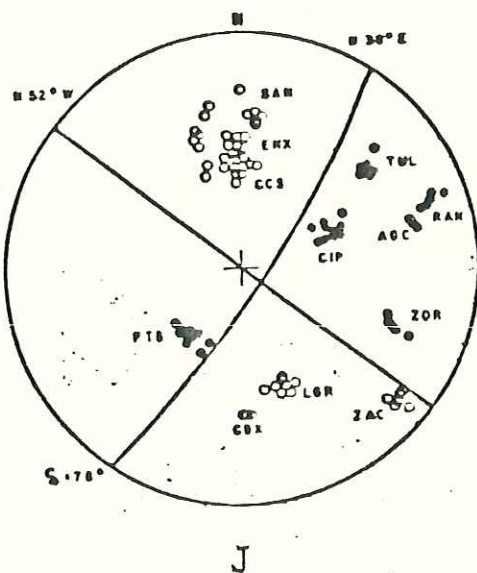
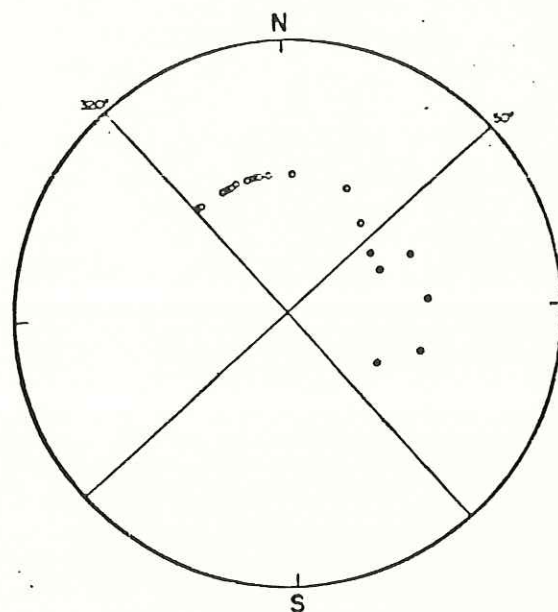


Fig.22 Soluciones de mecanismo focal de Rebolgar y Reichle (1985) en Punta Colonett (fuera del área de estudio) y de González y Suárez (1984) (figura inferior) en la Bahía de Ensenada.

III.3. - Cordilleras Peninsulares.

III.3.1. - Introducción.

La mayor parte de los eventos sísmicos estudiados de esta provincia presentan localizaciones confiables. Sin embargo, no se pueden evitar errores de 3 a 5 km en latitud en los casos que ocurren por debajo del meridiano 32°N debido a la escasa cobertura de estaciones del lado mexicano.

Debido a que en la mayoría de los eventos la distancia a la estación más cercana rebasa los 15 km. (ver columna 11 de la Tabla VI), hubo que fijar la profundidad de los eventos. Los criterios que se utilizaron para seleccionar una profundidad se dan en la sección siguiente. Se han tomado en cuenta las lecturas de polaridad y de tiempo de arribo provenientes de las redes locales mencionadas por Rebollar y Reichle (1987) y que funcionaron durante el periodo 1982-1984. También se usan datos de la red colocada por CICESE para estudiar el evento de Pino Solo de 1985 (González y Munguía, 1987) y datos de las estaciones telesísmicas reportados por el USGS, para un cálculo adicional del mecanismo focal del mismo evento (#1, Fig. 41). No se hicieron correcciones del tiempo de arribo

TABLA VI

Localizaciones de los eventos ubicados en las Cordilleras Peninsulares, que presentan calidad buena y moderada en la solución del mecanismo focal. La simbología es la misma que la de la Tabla V.

| # | FECHA | HRMN | SEG | LATITUD | LONGITUD | PROF (KM) | MAG | N | GAP | DMIN (KM) | RMS | ERH | ERZ | QM | OA | AA | OB | AB | OT | AT | OP | AP |
|----|--------|------|-------|----------|-----------|--------------|-----|----|-----|--------------|------|-----|------|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| 1 | 820106 | 424 | 8.42 | 31-36.37 | 115-47.87 | 9.00* | 3.9 | 12 | 261 | 87.7 | 0.34 | 6.4 | 4.8 | D1 | 139 | 85 | 230 | 90 | 275 | 5 | 6 | 5 |
| 2 | 820322 | 853 | 28.60 | 33- 3.32 | 116-12.25 | 9.00* | 4.5 | 63 | 37 | 13.2 | 0.32 | 0.6 | 1.6 | C1 | 215 | 50 | 125 | 90 | 253 | 30 | 1 | 30 |
| 3 | 820329 | 20 8 | 26.77 | 32-58.54 | 115-54.03 | 9.00* | 3.6 | 34 | 53 | 7.5 | 0.30 | 0.8 | 1.6 | B1 | 215 | 70 | 126 | 90 | 257 | 15 | 352 | 15 |
| 4 | 820525 | 1245 | 31.32 | 31-36.48 | 115-47.43 | 9.00* | 4.1 | 13 | 131 | 69.7 | 0.24 | 1.5 | 7.4 | D1 | 4 | 90 | 273 | 50 | 56 | 28 | 310 | 28 |
| 5 | 820526 | 1158 | 37.00 | 31-59.65 | 116-18.70 | 9.00* | 2.9 | 19 | 92 | 35.6 | 0.31 | 1.6 | 5.9 | C1 | 51 | 90 | 139 | 70 | 280 | 13 | 186 | 13 |
| 6 | 820610 | 8 7 | 1.63 | 32-36.09 | 115-39.34 | 9.00* | 3.9 | 42 | 150 | 8.4 | 0.53 | 1.5 | 2.3 | D1 | 19 | 70 | 289 | 90 | 243 | 13 | 186 | 13 |
| 7 | 820905 | 521 | 26.48 | 32-56.34 | 115-50.51 | 8.00* | 4.4 | 30 | 81 | 2.5 | 0.29 | 0.7 | 1.3 | B1 | 73 | 85 | 131 | 20 | 140 | 50 | 0 | 30 |
| 8 | 830811 | 1648 | 45.89 | 32- 5.75 | 115-29.31 | 9.00* | 2.9 | 19 | 191 | 65.3 | 0.36 | 1.5 | 4.5 | D1 | 75 | 50 | 290 | 40 | 90 | 0 | 105 | 75 |
| 9 | 830911 | 1927 | 24.72 | 31-54.20 | 116- 2.33 | 9.00* | 3.9 | 28 | 208 | 59.2 | 0.50 | 2.0 | 6.0 | D1 | 3 | 90 | 93 | 90 | 48 | 0 | 48 | 0 |
| 10 | 830920 | 0 8 | 51.78 | 33- 3.30 | 116-12.11 | 9.00* | 3.5 | 27 | 100 | 13.1 | 0.31 | 1.0 | 2.8 | C1 | 222 | 80 | 320 | 80 | 90 | 10 | 183 | 22 |
| 11 | 830921 | 835 | 10.31 | 32- 1.55 | 116-20.05 | 9.00* | 3.4 | 12 | 190 | 35.0 | 0.32 | 2.7 | 8.1 | D1 | 53 | 90 | 142 | 90 | 99 | 0 | 9 | 0 |
| 12 | 830930 | 1224 | 22.31 | 32-56.19 | 115-49.63 | 9.00* | 3.2 | 40 | 32 | 2.1 | 0.33 | 0.7 | 1.4 | B1 | 232 | 80 | 135 | 50 | 284 | 40 | 180 | 15 |
| 13 | 831111 | 1636 | 31.65 | 32-57.56 | 115-52.43 | 9.00* | 3.3 | 32 | 83 | 4.7 | 0.30 | 0.8 | 1.7 | B1 | 33 | 70 | 270 | 30 | 90 | 55 | 321 | 20 |
| 14 | 831111 | 1716 | 5.33 | 32-57.83 | 115-52.85 | 9.00* | 3.8 | 42 | 36 | 5.4 | 0.32 | 0.7 | 1.7 | B1 | 45 | 75 | 296 | 40 | 96 | 48 | 344 | 20 |
| 15 | 831205 | 14 9 | 9.50 | 32-12.36 | 115-51.25 | 9.00* | 3.7 | 28 | 132 | 49.4 | 0.87 | 2.5 | 7.5 | D1 | 193 | 60 | 310 | 50 | 72 | 5 | 340 | 55 |
| 16 | 831220 | 115 | 4.48 | 32-56.81 | 116-17.77 | 9.00* | 3.5 | 41 | 55 | 25.0 | 0.29 | 0.6 | 2.0 | C1 | 35 | 90 | 305 | 10 | 82 | 10 | 349 | 10 |
| 17 | 840214 | 641 | 39.91 | 31-59.68 | 116-13.64 | 9.00* | 3.5 | 19 | 94 | 43.2 | 0.39 | 1.7 | 5.9 | C1 | 252 | 50 | 311 | 70 | 91 | 55 | 192 | 14 |
| 18 | 840229 | 2 7 | 31.78 | 33- 8.05 | 116- 5.20 | 9.00* | 4.3 | 64 | 26 | 9.1 | 0.30 | 0.5 | 1.5 | C1 | 206 | 80 | 305 | 40 | 82 | 20 | 332 | 40 |
| 19 | 840410 | 2114 | 55.40 | 32-10.62 | 115-46.19 | 9.00* | 3.0 | 18 | 75 | 51.3 | 0.21 | 0.8 | 2.6 | C1 | 347 | 75 | 167 | 10 | 78 | 55 | 257 | 35 |
| 20 | 840413 | 328 | 37.08 | 32- 9.63 | 115-47.38 | 9.00* | 4.1 | 30 | 76 | 53.9 | 0.45 | 1.4 | 4.1 | D1 | 35 | 90 | 125 | 90 | 80 | 0 | 350 | 0 |
| 21 | 840421 | 6 2 | 47.48 | 31-56.91 | 116-18.49 | 9.00* | 3.9 | 12 | 102 | 34.5 | 0.42 | 3.4 | 8.8 | C1 | 227 | 70 | 140 | 90 | 271 | 10 | 4 | 10 |
| 22 | 840509 | 123 | 50.62 | 32-13.00 | 115-46.70 | 9.00* | 3.1 | 32 | 53 | 48.2 | 0.51 | 1.0 | 3.7 | D1 | 242 | 80 | 342 | 30 | 30 | 0 | 127 | 30 |
| 23 | 840531 | 514 | 53.93 | 32- 8.32 | 115-48.25 | 9.00* | 3.4 | 43 | 140 | 55.6 | 0.49 | 1.2 | 3.7 | D1 | 43 | 90 | 133 | 90 | 88 | 0 | 350 | 0 |
| 24 | 840624 | 12 8 | 7.46 | 31-55.50 | 115-48.72 | 9.00* | 4.1 | 22 | 102 | 80.7 | 0.35 | 1.6 | 9.1 | D1 | 172 | 60 | 305 | 40 | 63 | 10 | 318 | 60 |
| 25 | 841010 | 2122 | 58.94 | 33- 8.51 | 116-30.85 | 10.50* | 4.5 | 56 | 41 | 13.9 | 0.28 | 0.5 | 1.2 | B1 | 261 | 60 | 343 | 90 | 110 | 40 | 218 | 20 |
| 26 | 841126 | 214 | 59.18 | 32- 2.29 | 116-16.91 | 9.00* | 3.6 | 19 | 166 | 47.2 | 0.31 | 1.8 | 5.6 | C1 | 236 | 70 | 316 | 70 | 95 | 30 | 7 | 0 |
| 27 | 841209 | 8 4 | 11.01 | 31-57.99 | 116-21.69 | 9.00* | 4.3 | 22 | 182 | 30.1 | 0.25 | 1.5 | 4.0 | C1 | 40 | 90 | 130 | 90 | 85 | 0 | 355 | 0 |
| 28 | 850203 | 1748 | 21.65 | 32-36.47 | 115-38.77 | 9.00* | 3.8 | 46 | 150 | 8.7 | 0.49 | 1.4 | 2.0 | C1 | 13 | 90 | 103 | 90 | 58 | 0 | 148 | 0 |
| 29 | 850313 | 1719 | 26.59 | 33-12.38 | 116- 4.18 | 9.00* | 3.1 | 46 | 40 | 10.5 | 0.29 | 0.6 | 1.5 | B1 | 256 | 70 | 71 | 20 | 341 | 65 | 161 | 25 |
| 30 | 850320 | 353 | 29.84 | 33- 2.85 | 116-24.43 | 9.00* | 3.3 | 42 | 48 | 14.4 | 0.25 | 0.5 | 1.6 | B1 | 28 | 90 | 118 | 65 | 257 | 20 | 159 | 20 |
| 31 | 850329 | 246 | 52.58 | 32- 3.44 | 116-20.89 | 9.00* | 3.3 | 25 | 131 | 35.6 | 0.29 | 1.0 | 4.2 | C1 | 50 | 90 | 140 | 90 | 95 | 0 | 5 | 0 |
| 32 | 850508 | 2340 | 21.54 | 31-54.20 | 115-52.37 | 9.00* | 5.0 | 29 | 203 | 74.9 | 0.25 | 1.4 | 4.4 | C1 | 45 | 90 | 135 | 90 | 45 | 0 | 90 | 0 |
| 33 | 850509 | 024 | 13.63 | 31-53.81 | 115-52.07 | 9.00* | 3.5 | 26 | 198 | 75.4 | 0.34 | 1.8 | 6.4 | D1 | 52 | 90 | 139 | 90 | 97 | 0 | 4 | 0 |
| 34 | 850509 | 323 | 39.18 | 31-56.58 | 115-53.65 | 9.00* | 4.1 | 24 | 196 | 73.2 | 0.39 | 2.2 | 7.8 | D1 | 55 | 90 | 141 | 60 | 283 | 20 | 183 | 20 |
| 35 | 850510 | 539 | 38.93 | 31-50.75 | 115-50.28 | 9.00* | 4.8 | 15 | 270 | 89.3 | 0.34 | 9.1 | 12.5 | D1 | 217 | 80 | 310 | 70 | 82 | 3 | 350 | 30 |
| 36 | 850514 | 1735 | 36.61 | 33-31.32 | 116-48.15 | 9.00* | 3.2 | 40 | 78 | 9.9 | 0.24 | 0.5 | 1.5 | B1 | 260 | 75 | 90 | 70 | 131 | 0 | 39 | 26 |
| 37 | 850520 | 253 | 55.75 | 31-54.75 | 115-51.75 | 6.65 | 3.9 | 30 | 123 | 10.3 | 0.37 | 1.6 | 3.2 | C1 | 2 | 90 | 92 | 90 | 47 | 0 | 137 | 0 |
| 38 | 850531 | 1130 | 30.62 | 31-49.69 | 115-49.83 | 9.00* | 3.9 | 26 | 132 | 16.9 | 0.52 | 3.1 | 6.3 | C1 | 79 | 90 | | | 168 | 45 | 349 | 45 |
| 39 | 850603 | 653 | 27.62 | 33- 2.37 | 115-58.90 | 9.00* | 3.5 | 56 | 22 | 17.0 | 0.32 | 0.6 | 2.3 | C1 | 227 | 80 | 322 | 65 | 86 | 10 | 3 | 30 |
| 40 | 850609 | 050 | 31.83 | 31-51.60 | 115-48.65 | 8.84 | 4.5 | 24 | 150 | 1.5 | 0.31 | 1.6 | 1.3 | C1 | 214 | 80 | 124 | 90 | 80 | 6 | 170 | 6 |
| 41 | 851119 | 1243 | 56.36 | 32-12.17 | 115-29.79 | 9.00* | 3.4 | 21 | 180 | 54.0 | 0.46 | 2.9 | 6.8 | D1 | 20 | 90 | 110 | 90 | 155 | 0 | 65 | 0 |
| 44 | 870607 | 915 | 54.24 | 32-39.64 | 115-53.85 | 9.00* | 3.1 | 45 | 122 | 2.8 | 0.43 | 1.1 | 1.6 | C1 | 45 | 90 | 135 | 90 | 90 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 870621 | 856 | 39.68 | 32-39.60 | 115-47.55 | 12.00* | 3.3 | 34 | 125 | 12.3 | 0.38 | 1.2 | 1.9 | C1 | 190 | 60 | 300 | 60 | 64 | 0 | 335 | 45 |

para las estaciones debido a que las localizaciones se encuentran bastante dispersas en la región y porque no se tienen la cantidad suficiente de eventos para hacer la estimación.

III.3.2. - Estructura y Localización Hipocentral.

El modelo de velocidades utilizado para la estructura de la corteza de esta provincia (Fig. 14, MC.SIE) se basa en el propuesto por Nava y Brune (1982). Estos autores interpretan de dos perfiles de refracción que resultaron de una explosión en Corona, California (al extremo norte de la provincia) y en el temblor de Pino Solo de 1975 ubicado en el norte de Baja California ($31^{\circ} 49' N$, $115^{\circ} 51' W$, $M = 5.1$). Al mismo tiempo, estiman una profundidad de corteza de 42 km. A este modelo estructural se le ha superpuesto en esta Tesis, un gradiente de velocidad que parte de 5.0 km/seg en la superficie, y aumenta línealmente hasta llegar a 5.8 km/seg a los 5 km de profundidad. Este gradiente mantiene la velocidad en 5.6 km/seg como promedio entre los primeros 6 km. manteniendo equivalencia con el modelo de Nava y Brune. Los valores de la velocidad en las capas superficiales del modelo utilizado en esta Tesis, están de acuerdo en las mediciones de velocidad de onda P sobre rocas graníticas del Batolito Peninsular (Camacho, 1989) en las

que se obtienen promedios de 4.8 km/seg para los primeros 500 mts de profundidad. El incremento de la velocidad se hace con la suposición del efecto debido a la compactación de las rocas con la profundidad.

Los hipocentros son calculados usando los tiempos de arribo de las estaciones a distancias menores a 150 km del epicentro. La profundidad se fija a 9 km ya que en la mayoría de los eventos no se cuenta con estaciones cercanas al epicentro. Esta profundidad se elige en base a las determinaciones de profundidad de los sismos que ocurren a menos de 15 km de una estación y a las determinaciones de profundidad de sismos anteriormente estudiados por Rebollar y Reichle (1987) en los cuales se colocaron redes locales cercanas.

Mediante una serie de pruebas con distintas profundidades fijas, se comprobó que los residuales de tiempo de arribo de onda P para las estaciones cercanas tienden a un mínimo cuando se trabaja con profundidades entre los 8 y los 11 km (Fig. 23). Con ésto, y con los resultados en el error estadístico en profundidad (columna 14, Tabla VI), se puede decir que la sismicidad ocurre entre los 5 y lo 13 km de profundidad, con un promedio entre los 9 km. Estos resultados están de acuerdo con las profundidades promedio obtenidas por Rebollar y Reichle (1987) en los

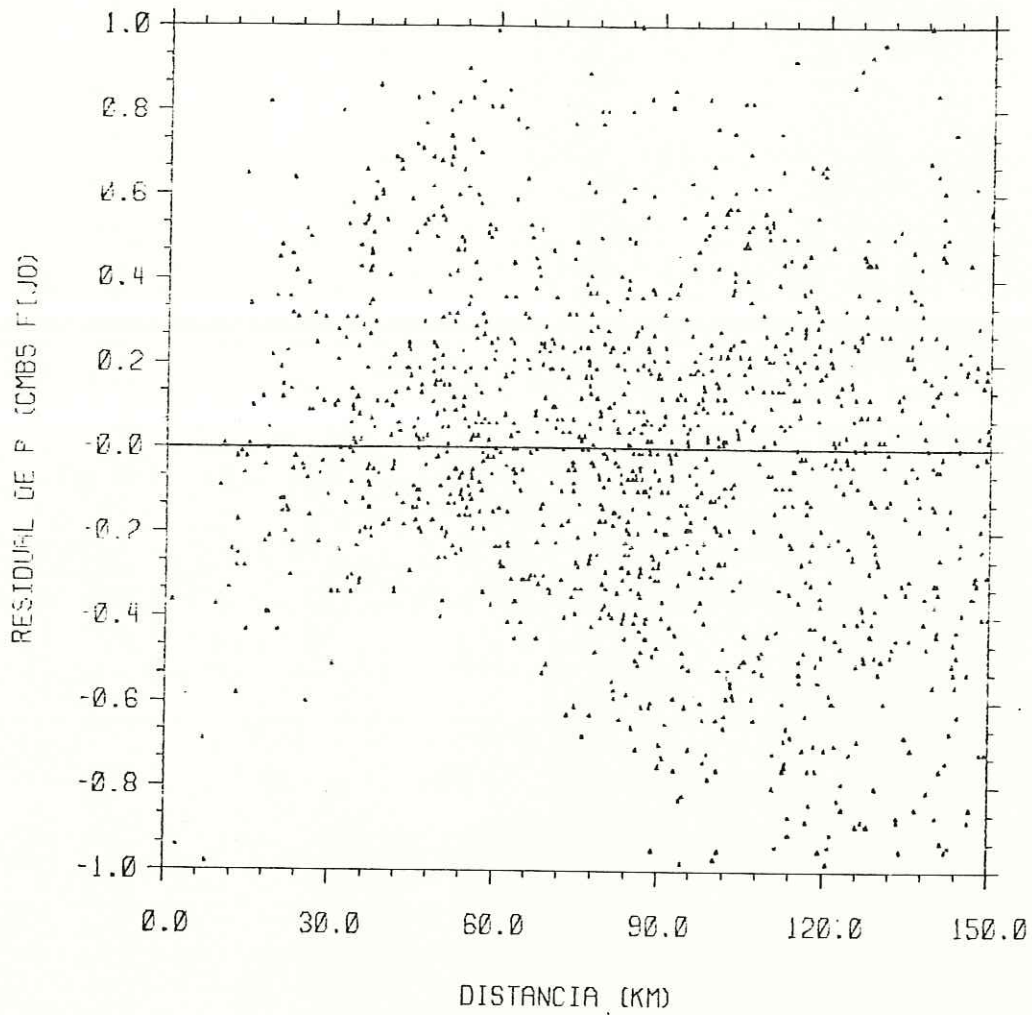


Fig.23 Gráfica de residuales de tiempo de arribo de onda P para estaciones que registran los sismos ocurridos y estudiados en la provincia de las Cordilleras Peninsulares. El modelo utilizado en las localizaciones es el MC.SIE de la Figura 14.

sismos ocurridos entre 1982 y 1984 en las Cordilleras Peninsulares del norte de Baja California (Fig. 24). La profundidad promedio obtenida por ellos, se encuentra entre los 10 y los 11 km. En todos los casos observados en su estudio se tiene un mínimo de 5 estaciones a menos de 15 km de distancia, por lo que obtienen buenas determinaciones de la profundidad. Sin embargo, estos autores utilizan un modelo de capas homogéneas distinto al presentado en esta tesis por lo que sus resultados solo pueden tomarse como una primera aproximación. Las localizaciones de los eventos estudiados en esta provincia se presentan en la Tabla VI y en la Figura 25.

III.3.3. - Mecanismos Focales.

En las Figura 26 se presenta el detalle de cada uno de los mecanismos focales de los eventos de calidad buena y moderada para esta provincia. Cada una de las soluciones obtenidas se presentan en la Figura 27.

Eventos de buena calidad:

Los eventos que caen en esta categoría constituyen cerca del 70% de las soluciones obtenidas en esta provincia. Debido a una mejor cobertura, la calidad de las

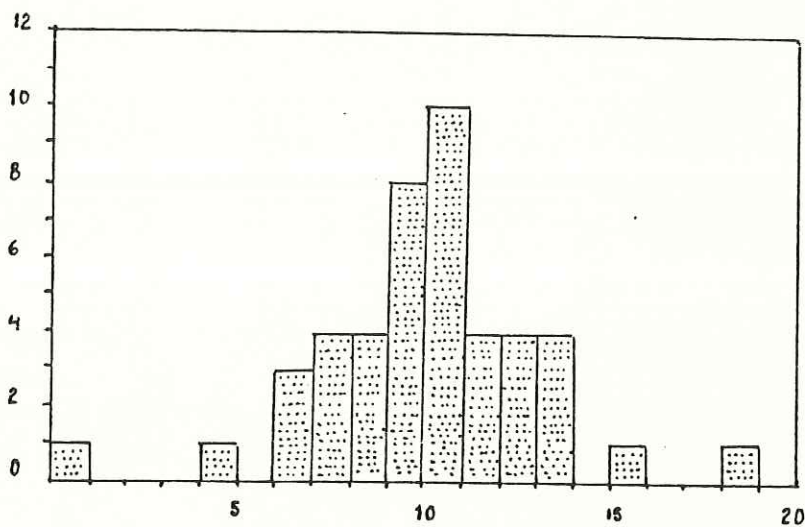


Fig.24 Profundidades de focos sísmicos obtenidas por Rebollar y Reichle (1987) en sismos ocurridos en las Cordilleras Peninsulares del norte de Baja California durante el periodo 1982-1984. Las determinaciones son tomadas de aquellos sismos en los que se reportan al menos 5 estaciones cercanas (distancias menores de 15 km).

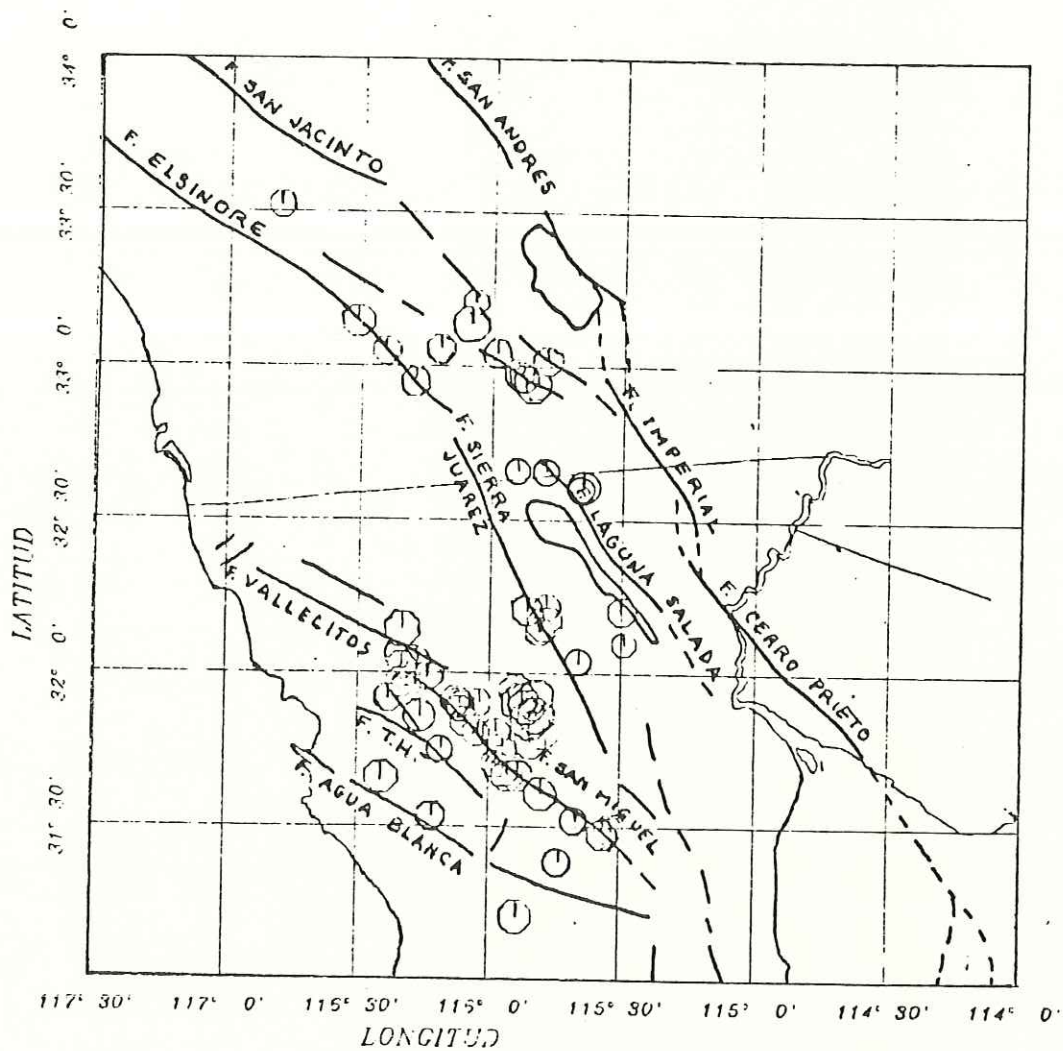


Fig. 25 Determinaciones epicentrales de los eventos ubicados en las Cordilleras Peninsulares entre los 31°N y 33°N. Se incluyen los casos de buena, moderada y mala calidad en la solución del mecanismo focal.

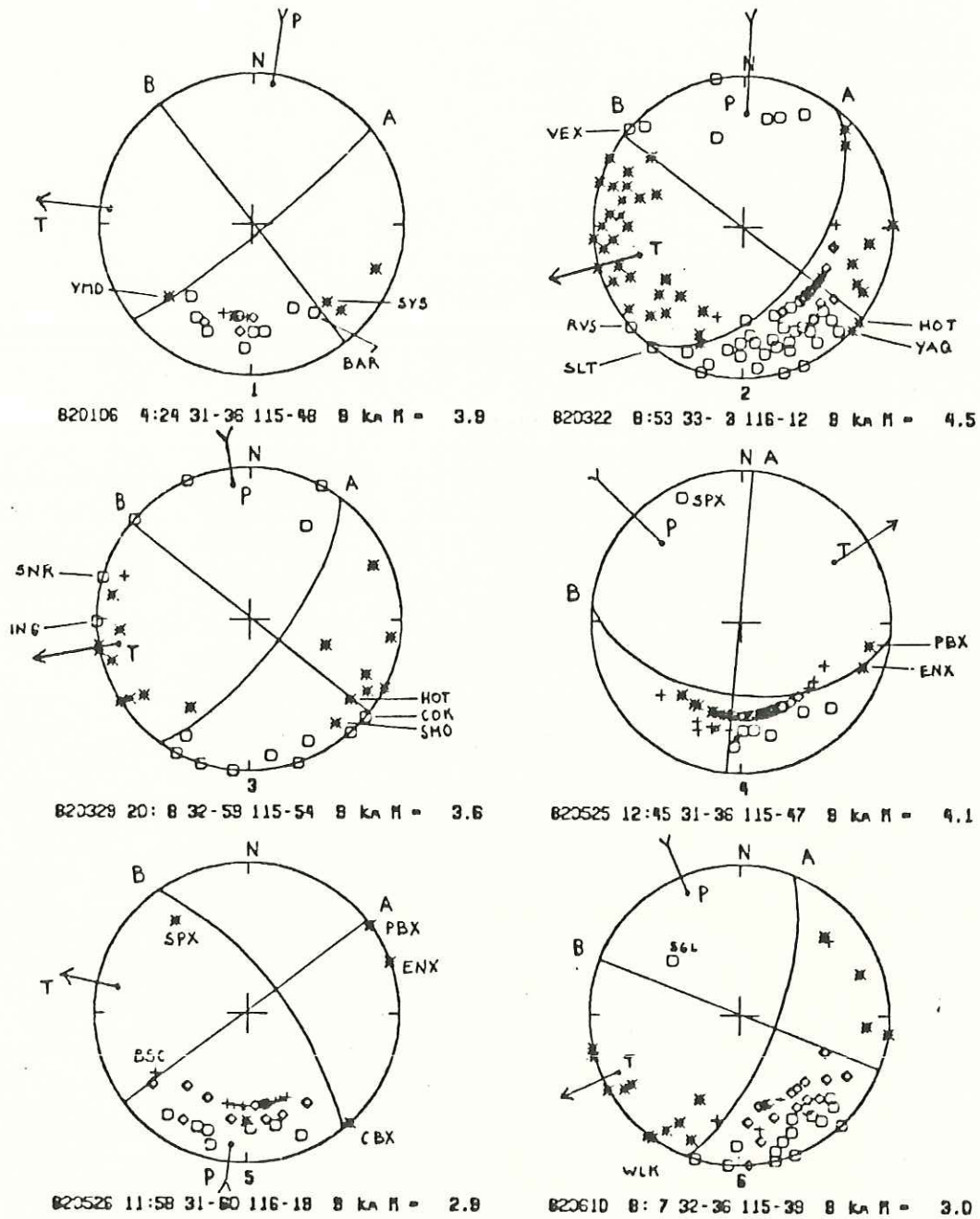


Fig.26 Mecanismos focales de los eventos ocurridos en las Cordilleras Peninsulares del sur de California y norte de Baja California. Se incluyen los casos con soluciones buenas y moderadas, los de mala calidad se incluyen en el apéndice. La simbología es la misma que en la Figura 18.

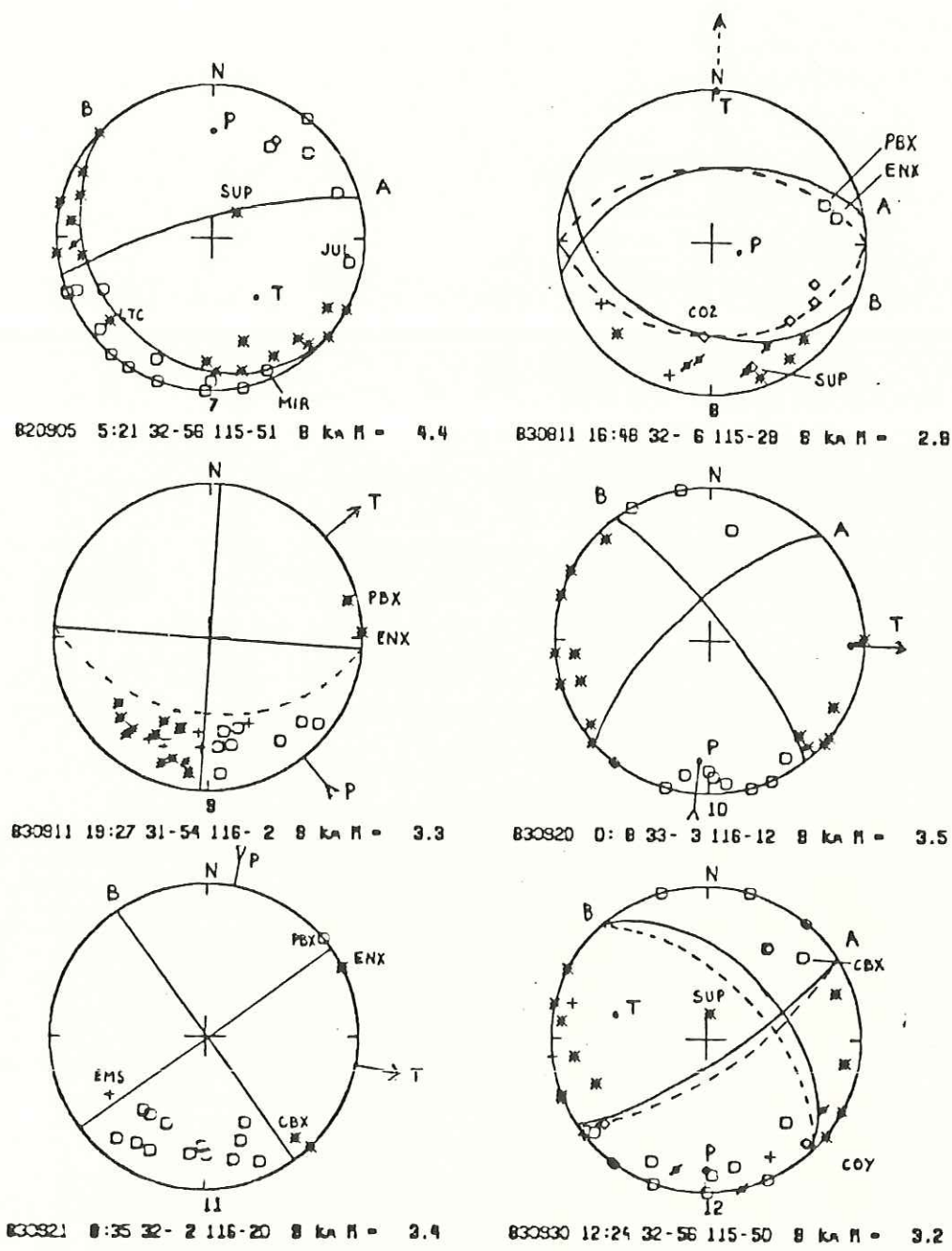
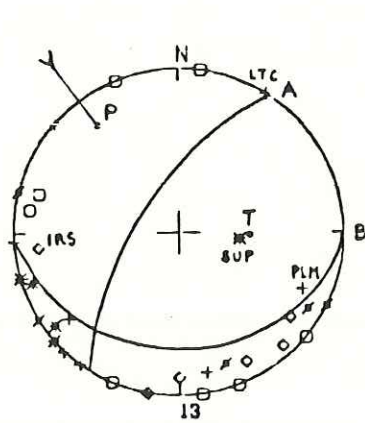
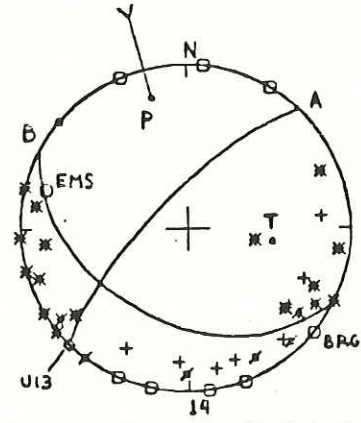


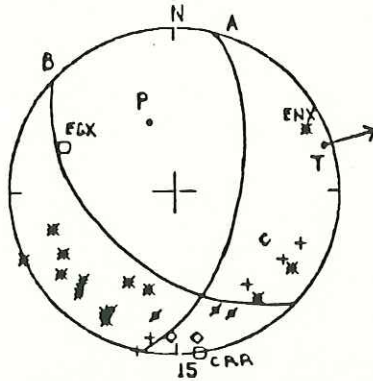
Fig.26 (continuación)



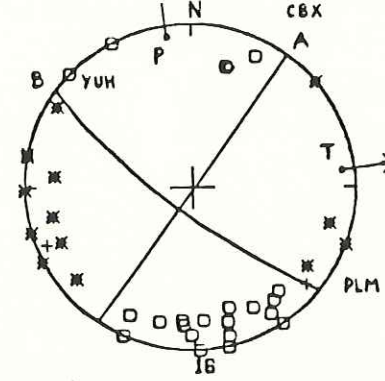
831111 16:36 32-58 115-52 8 ka M = 3.3



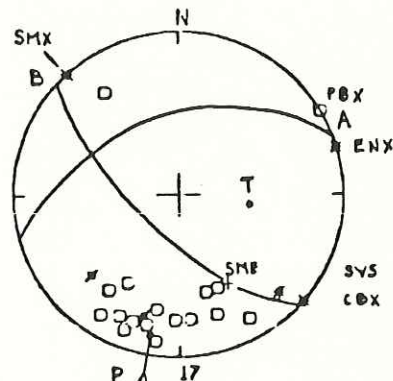
831111 17:16 32-58 115-53 8 ka M = 3.8



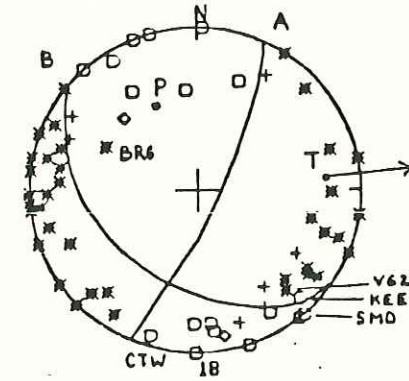
831205 14: 8 32-12 115-51 8 ka M = 3.7



831220 1:15 32-57 116-18 8 ka M = 3.5



840214 6:41 31-60 116-14 8 ka M = 3.5



840228 2: 7 33- 8 116- 5 8 ka M = 4.3

Fig.26 (continuación)

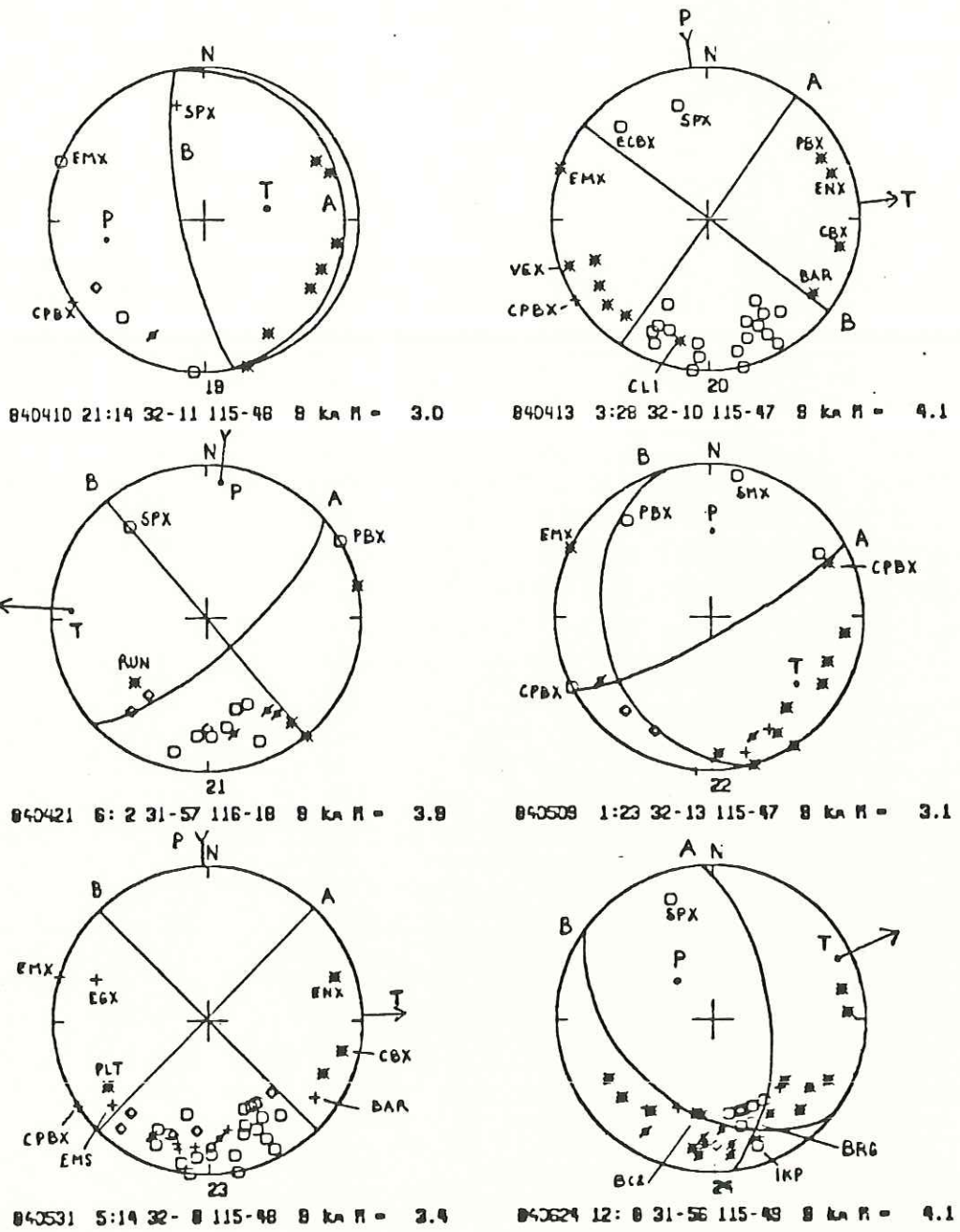


Fig.26 (continuación)

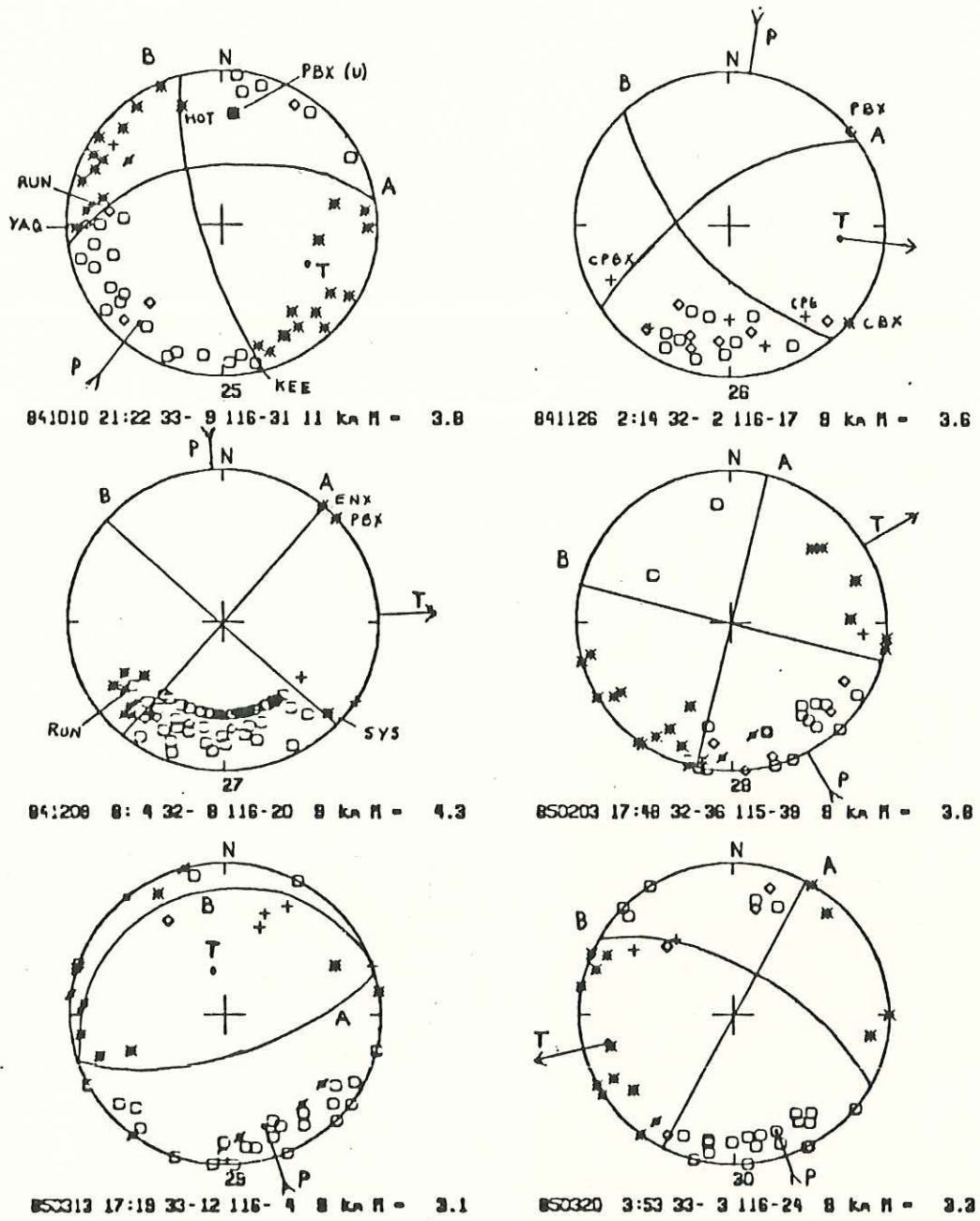


Fig.26 (continuación)

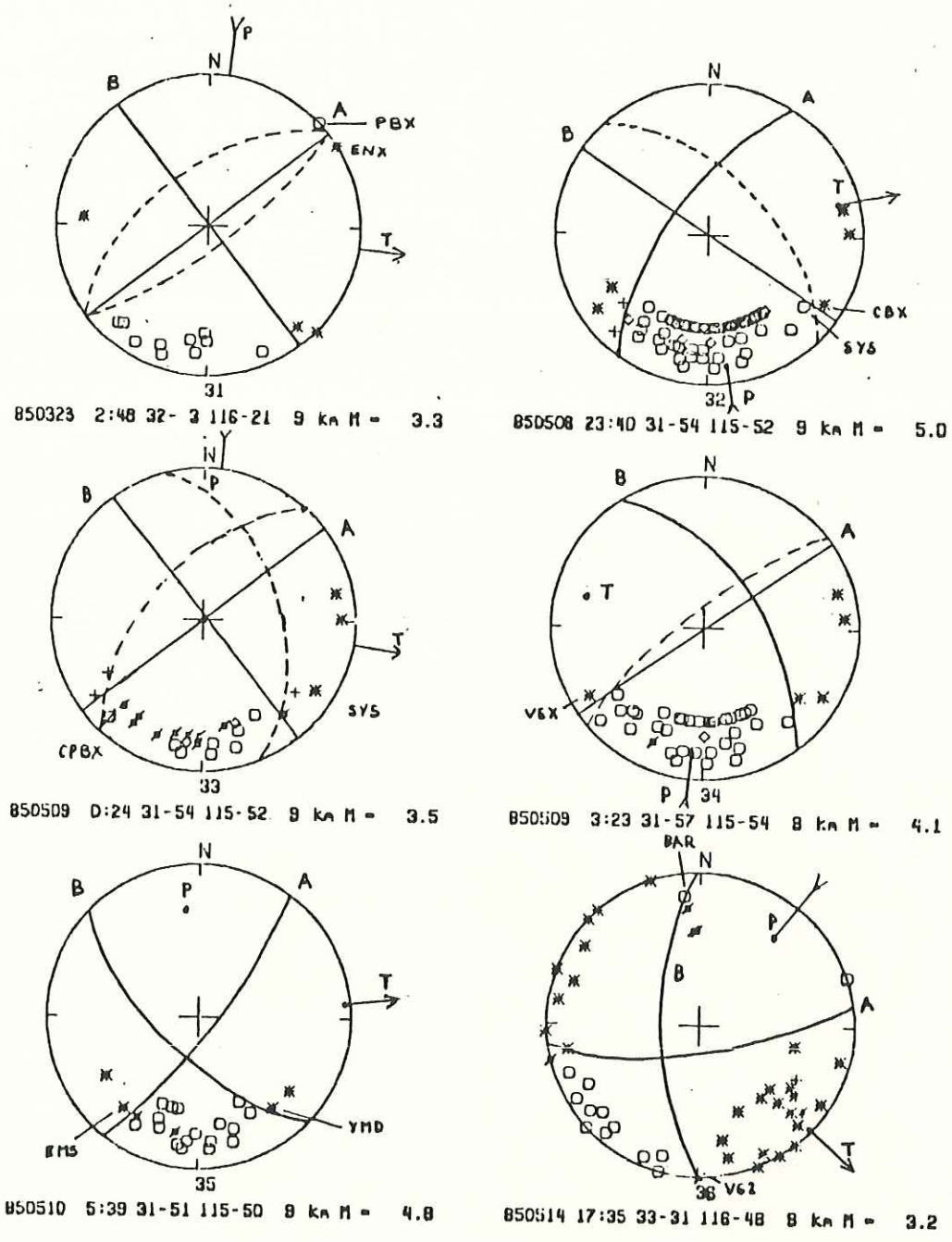
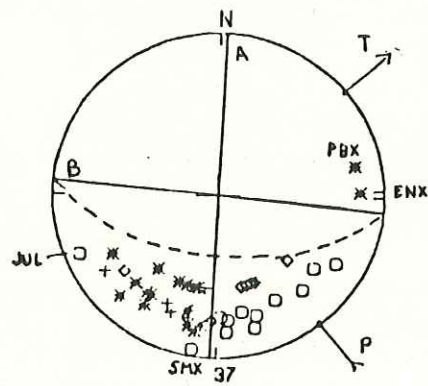
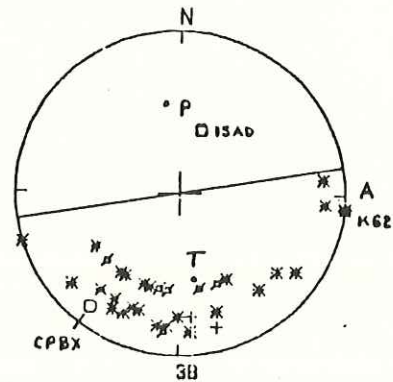


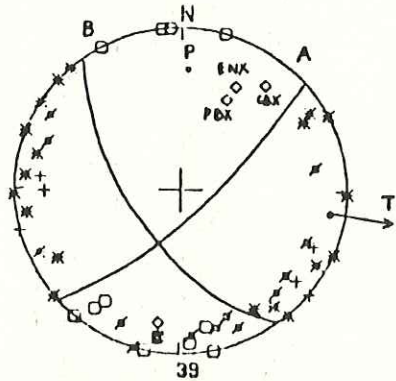
Fig.26 (continuación)



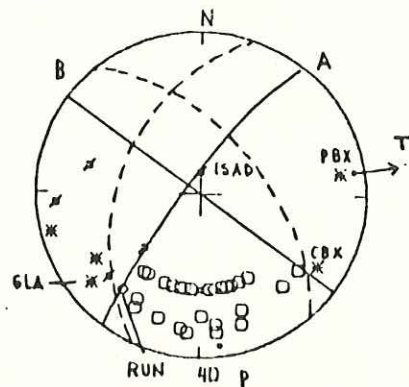
850520 2:53 31-55 115-52 7 km M = 3.8



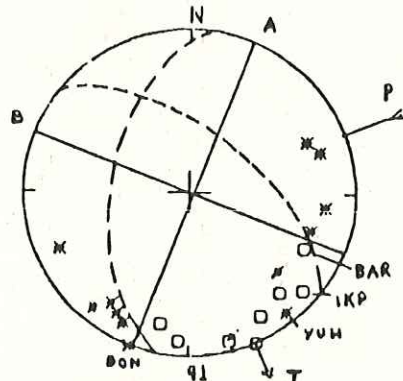
850531 11:30 31-50 115-50 9 km M = 3.8



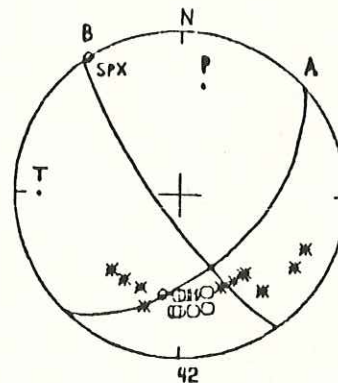
850603 6:53 33- 2 115-59 9 km M = 3.5



850609 0:50 31-52 115-48 8 km M = 4.5

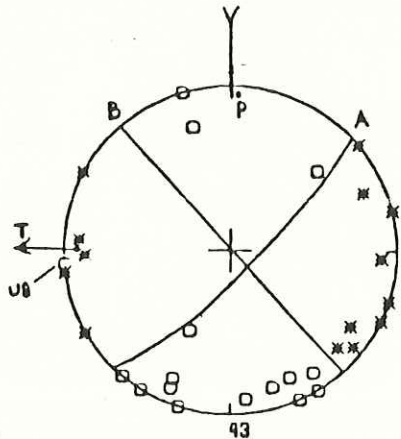


851118 12:43 32-12 115-30 8 km M = 3.4

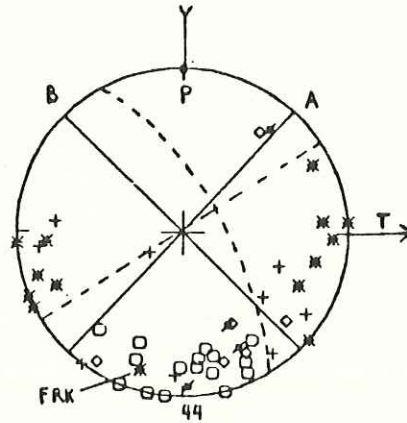


860511 17:31 31-23 115-44 8 km M = 3.4

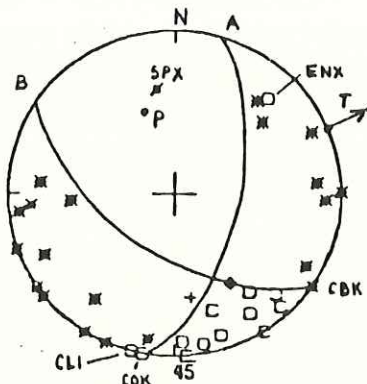
Fig.26 (continuación)



86:229 16: 5 33- 1 115-47 8 km H = 3.4



870607 8:15 32-40 115-54 8 km H = 3.1



870621 8:56 32-39 115-47 12 km H = 3.3

Fig.26 (continuación)

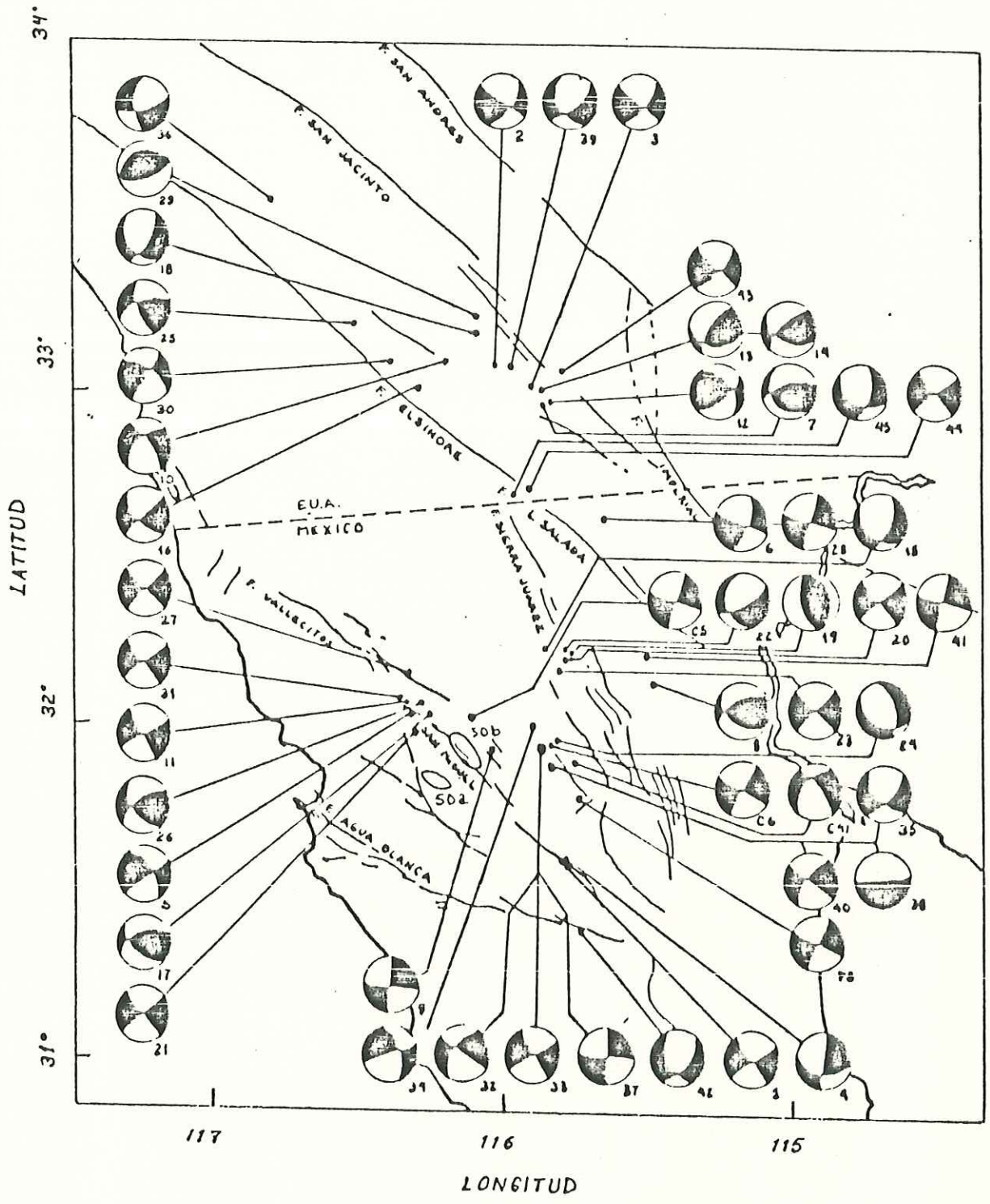


Fig.27 Soluciones de mecanismos focales encontradas para la región de las Cordilleras Peninsulares. Los números corresponden a la figura donde se muestra el detalle de cada solución en la Figura 26. Las soluciones indicadas C5, C6 y C41 corresponden a las soluciones de Rebolgar y Reichle (1987). La solución PS corresponde al evento Pino Solo de 1975 (Nava y Brune, 1983). La región de estudio llega hasta los 33° N solamente.

determinaciones se incrementa en comparación con la provincia anterior. Se obtienen soluciones en una mayor cantidad de eventos con $M < 3.5$. A continuación se presenta la lista de los sismos que caen dentro de esta categoría.

| | | |
|-----|--------|-------|
| #1 | 820106 | 04:24 |
| #2 | 820322 | 08:53 |
| #3 | 820329 | 20:08 |
| #4 | 820525 | 12:45 |
| #5 | 820526 | 11:58 |
| #6 | 820610 | 08:07 |
| #7 | 820905 | 05:21 |
| #9 | 830911 | 19:27 |
| #10 | 830920 | 00:08 |
| #11 | 830921 | 08:35 |
| #12 | 830930 | 12:24 |
| #13 | 831111 | 16:36 |
| #14 | 831111 | 17:16 |
| #15 | 831205 | 14:09 |
| #16 | 831220 | 01:15 |
| #17 | 840214 | 06:41 |
| #18 | 840229 | 02:07 |
| #19 | 840410 | 21:14 |
| #20 | 840413 | 03:28 |

#21 840421 06:02
#22 840509 01:23
#23 840531 05:14
#24 840624 12:08
#25 841209 21:22
#27 841209 08:04
#28 850203 17:48
#29 850313 17:19
#30 850320 03:53
#35 850509 03:23
#36 850510 05:39
#37 850514 17:35
#40 850603 06:53
#42 850511 17:31
#43 861229 16:05
#45 870621 08:56

Eventos de calidad moderada:

#8 - 830811 16:48. La solución normal está sugerida por la forma en que se distribuyen las compresiones. Se presenta una variación de la solución (planos en línea quebrada). Sin embargo, la solución en línea continua es preferible debido a que satisface mejor las lecturas de ENX y PBX.

#26 - 841126 02:14. Este evento presenta solamente tres compresiones por lo que la solución no queda bien constreñida. Sin embargo, se pueden establecer los planos al contar con los datos de CPBX, CPE, CBX y PBX.

#31 - 850329 02:46. Solución no bien constreñida debido a la poca cantidad de datos. Las lecturas de ENX y de PBX son las que definen el plano A.

#32 - 850508 23:40. Este evento tiene buena cantidad de datos, pero mal distribuidos en azimut. Esto permite la posibilidad de una variación en uno de los planos (línea quebrada), sin que con ello se altere demasiado la solución.

#33 - 850509 00:24. Al igual que el evento anterior, se presentan varias soluciones siendo de mayor peso la indicada en línea continua, ya que concuerda mejor con la amplitud de las lecturas de las estaciones CPBX y SYS.

#37 - 850520 02:53. Este evento presenta un mecanismo interesante pues sugiere un tipo lateral-izquierdo, si es que se toma el plano B como plano de falla. Debido a una cobertura azimutal incompleta, el echado de el plano B no está bien determinado. Se da preferencia al indicado en línea continua ya que coincide mejor con la amplitud de la lectura en ENX.

#38 - 850531 11:30. Esta solución presenta puro desplazamiento vertical. Está apoyada por la forma en que se distribuyen las compresiones en la parte inferior de la figura. Las estaciones ISAD y K62 pertenecen a la red local colocada durante ese periodo por CICESE (Rebollar y Reichle, 1987) y son críticas para encontrar la solución. La lectura en CPBX aparece como contradicción para la solución planteada.

#40 - 850609 00:50. Solución de rumbo apoyada principalmente por las lecturas de GLA, ISAD y RUN. Sin embargo cabe la posibilidad de una solución normal (en línea quebrada).

#44 - 870607 09:15. La solución es de rumbo y se señalan dos posibilidades en el trazo de los planos. En cualquiera de los dos casos, el tipo de solución no cambia más de 20° .

Eventos de mala calidad:

Las figuras se presentan en el apéndice y la lista de eventos se da en la Tabla VIII. Se presentan un total de 34 casos de este tipo, contra 45 de calidad buena (34) y moderada (11). A continuación, se hacen algunos comentarios acerca de los casos que, al menos, parecen indicar cierto

tipo de solución.

#6 - 831119 08:54. La compresión de pequeña amplitud en la estación SYS permite plantear una posible solución (planos en línea quebrada). Sin embargo, se carece de una mayor cantidad de datos que apoyen esta solución.

#7 - 831129 11:02. Este caso permite gran variación del ángulo del echado de los planos. La lectura en SPX ofrece algo de ayuda en la elección de los planos pero no da una base muy segura sobre esto.

#13 - 841107 13:02, 841107 14:22, 841107 14:27. Estos casos parecen indicar la posibilidad de una solución inversa apoyada por las lecturas de CPBX. Sin embargo es imposible definir la solución más adecuada ya que no hay datos suficientes. Se presentan dos tipos de solución posibles para cada caso (líneas quebrada y punteada).

#27 - 860207 00:09, #28 - 860207 00:40. Estos dos eventos pertenecen a una secuencia ocurrida cerca de la Falla Laguna Salada en la cual el evento principal presenta una solución similar a la que se plantea en línea quebrada en los eventos citados. El problema en ambos casos es que existen varias posibles soluciones que satisfacen casi todos los datos.

#31 - 860629 15:00. Contando solamente con tres compresiones de pequeña amplitud, es sumamente difícil hacer una estimación correcta del mecanismo focal de este evento, por lo cual se proponen dos soluciones diferentes.

#32 - 861017 00:29. Este evento presenta poca cobertura azimutal y cabe la posibilidad de que la solución varíe debido a la falta de un control en la solución.

#33 - 870513 00:45. Debido a la incompatibilidad entre los datos de las estaciones BAR, ENX y PBX, cabe la posibilidad de plantear tres soluciones.

La mala calidad del resto de los casos hace que no se hagan más comentarios al respecto.

III.3.4. - Dirección de los Ejes T y P.

En los 34 eventos con soluciones a rumbo, la dirección de los ejes de compresión y de tensión presenta cierta dispersión. En promedio, se orientan sobre los ejes N-S y E-W respectivamente (Fig. 40, #3). El rumbo de las fallas es en promedio de $N45^{\circ}W$ (Fig. 53). Se obtienen 11 eventos con solución de mecanismo de echado (Fig. 40, #4). Las soluciones son principalmente a rumbo, con unos pocos casos

en los que se tienen más bien soluciones mixtas, entre movimiento de rumbo y de echado (normales e inversas).

III.3.5. - Descripción de Resultados.

Se obtiene un total de 45 soluciones de mecanismo focal para esta provincia. La mayor parte de los casos estudiados ocurren a lo largo de la Falla San Miguel. El único temblor de $M > 5.0$ (Pino Solo, 8 de mayo de 1985), se localiza fuera del trazo de las fallas mapeadas en el área. De las soluciones encontradas, 34 corresponden a mecanismos focales de rumbo. En menor cantidad (11 casos), ocurren soluciones de echado. Si se considera que el plano de falla en las soluciones corresponde al plano B (orientado en la misma dirección que de las principales fallas superficiales), el tipo de mecanismo es lde rumbo lateral-derecho.

La Falla de Agua Blanca no ha experimentado sismicidad significativa durante el periodo de estudio. Sin embargo, se generó un enjambre de eventos en 1982 (González y Suarez, 1984, Rebollar, 1985) en una falla oceánica paralela y muy cercana a la falla de Agua Blanca (marcado con una J en la Fig. 19). Ese enjambre podría indicar que existe conexión entre las fallas del sistema Agua Blanca y las del sistema San Diego Trough-Bahia Soledad en la costa. La Falla Sierra

Juárez presentó poca sismicidad durante el periodo de estudio. En general y para toda la provincia de las Cordilleras Peninsulares, el tipo de mecanismo normal ocurre con menos frecuencia que los otros tipos.

La secuencia de Pino Solo de mayo de 1985 consistió en un evento principal de $M = 5.0$ (#32, Fig. 26) y réplicas (Fig. 28). La solución del mecanismo focal encontrada en esta Tesis para el evento principal es de rumbo con una ligera componente inversa. González y Munguía (1987) obtienen una solución compuesta (Fig. 29) para las réplicas de este evento, muy similar a la obtenida en esta Tesis para el evento principal.

Las réplicas ocurren durante algo más de un mes alcanzando magnitudes de hasta 4.1. La profundidad de la secuencia, según los resultados de González (1985), está entre los 5 y 10 km. El área de réplicas y el terremoto mismo no están asociados a ninguna falla conocida (González, 1985). Sin embargo, se encuentran a menos de 10 km del escarpe formado por la Sierra Juárez y el Valle de Mexicali. Por otra parte, la gran actividad registrada en este sector, antes y después del periodo de estudio, hace evidente la existencia de una falla o sistema de fallas en el área. Entre los mecanismos focales obtenidos para las réplicas, resaltan los numerados como 37 y 38 en la Figura 26. El

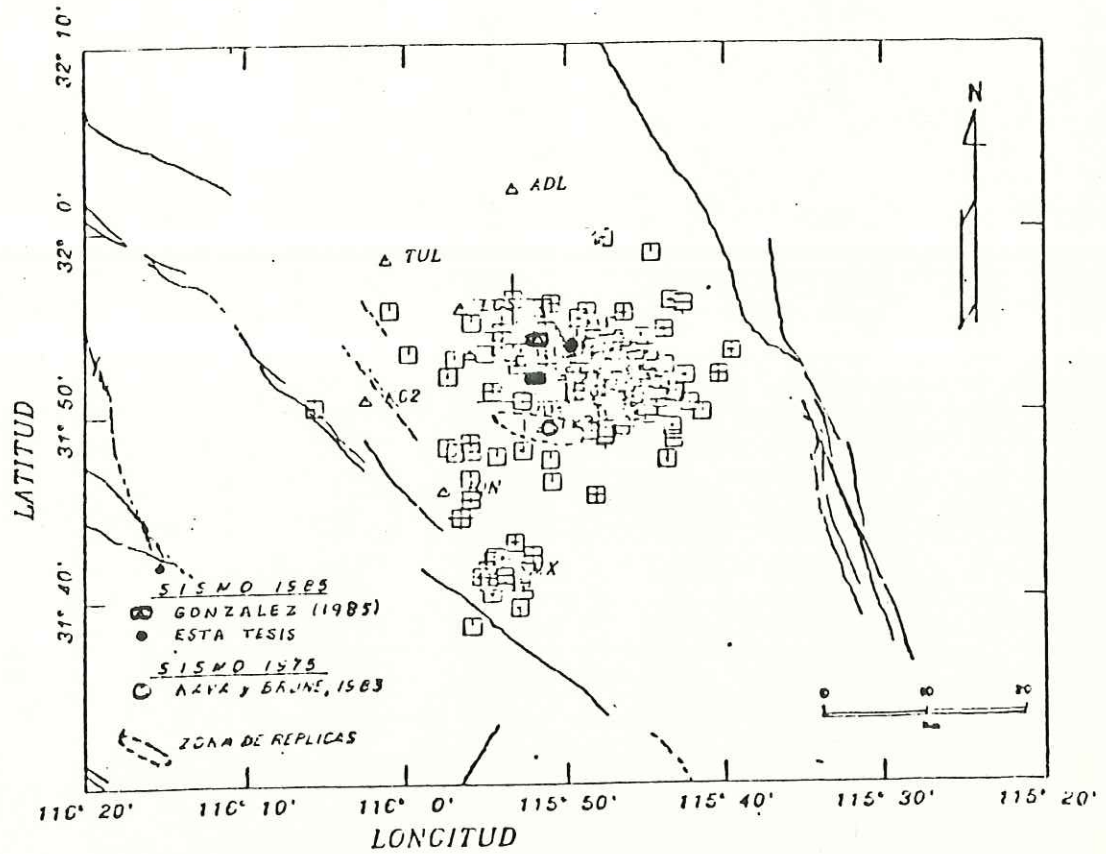


Fig.28 Localización del sismo de Pino Solo de 1985 y su zona de réplicas. Se incluyen las localizaciones obtenidas por González (1985) y Nava y Brune (1983) para el evento ocurrido en 1975. Adaptado de González (1985).

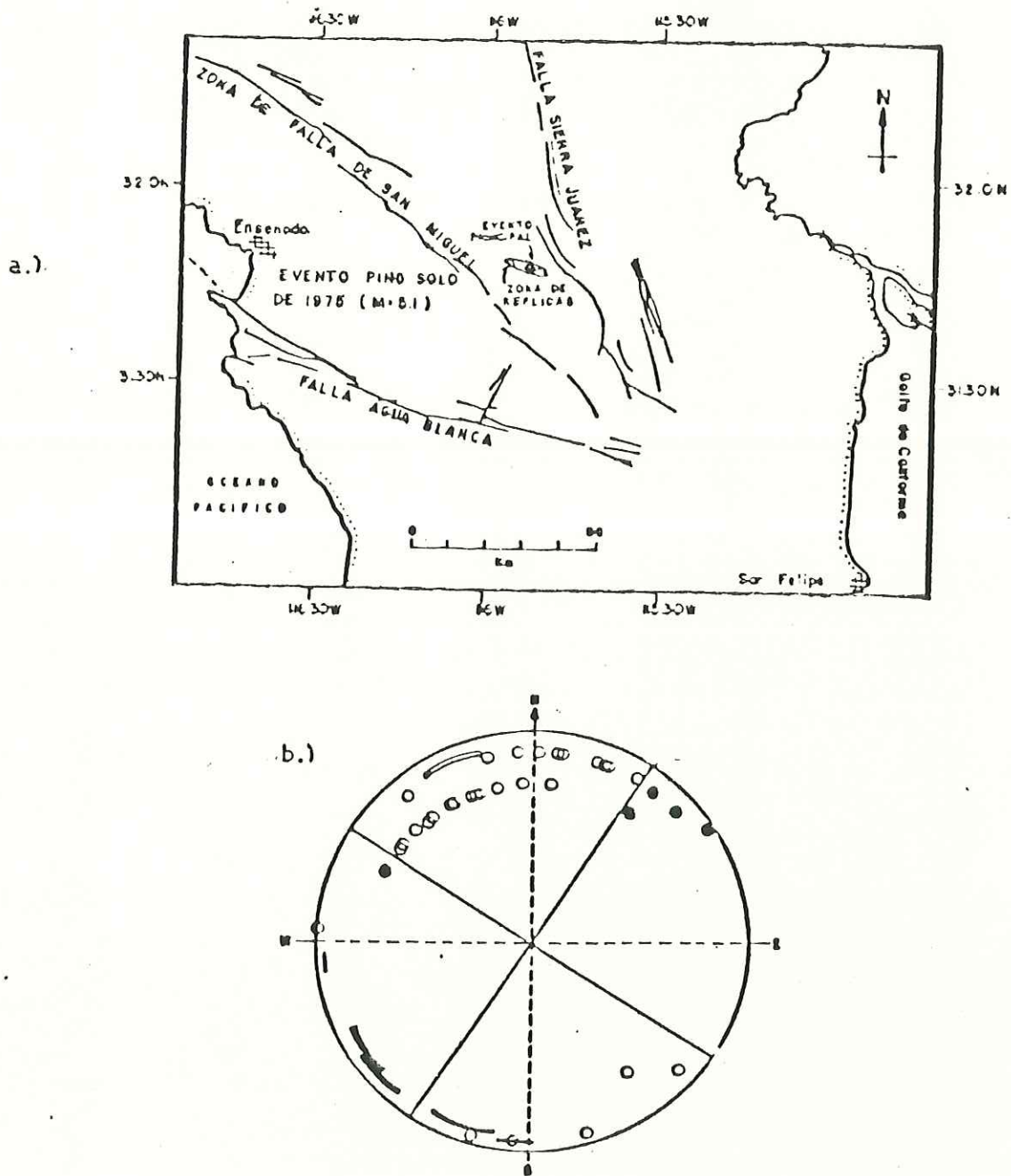


Fig.29 a) Localización del sismo de Pino Solo de 1975 y su zona de réplicas (Nava y Brune, 1983). b) Mecanismo focal para el evento de Pino Solo de 1975 (en línea continua) y sus réplicas (mecanismo focal compuesto - línea quebrada -). Adaptado de González (1985).

primero presenta un mecanismo de rumbo sin que se tenga seguridad de cuál es el plano de falla. El segundo es un mecanismo de pura componente vertical con el plano de falla orientado en sentido EW. Este tipo de fallamiento agrega mayor complejidad al área de Pino Solo.

En julio de 1975, ocurrió una secuencia similar ($31^{\circ} 49'N$, $115^{\circ} 51'e$, $M = 5.1$, Nava y Brune, 1983) de Pino Solo, consistente en un evento principal (Fig. 29) y réplicas. El mecanismo focal del evento principal es de rumbo. En la Figura 29, la solución para el evento principal se indica con dos planos en línea continua.

Al norte de la frontera y hasta los $33^{\circ}N$, la sismicidad se concentra en la Falla Elsinore y la Falla Supertition Hills. Las soluciones de los mecanismos son de rumbo lateral-derecho, si se toma como plano de falla el plano B de las soluciones. Se obtienen además, una menor cantidad de soluciones con mecanismos de echado y mixtos entre echado y de rumbo.

Los mecanismos focales aportados por otros autores (Tabla IV, Fig. 29, 30, 31 y 32), son consistentes con los encontrados en esta Tesis, en el sentido que indican mecanismos de rumbo que pueden ser lateral-derechos si se

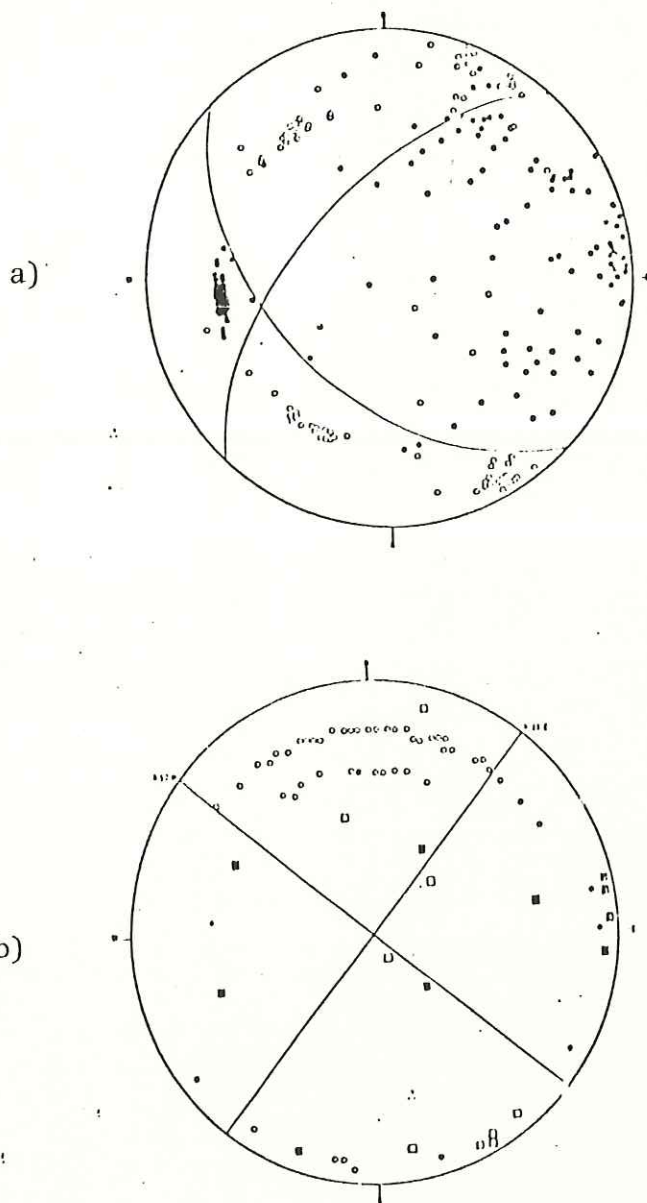


Fig.30 Soluciones de mecanismo focal del evento de Pino Solo de mayo de 1985 (González, 1985). a) mecanismo compuesto para el evento principal y las réplicas más grandes. b) mecanismo focal para las réplicas del resto de la secuencia. Tomado de González (1985).

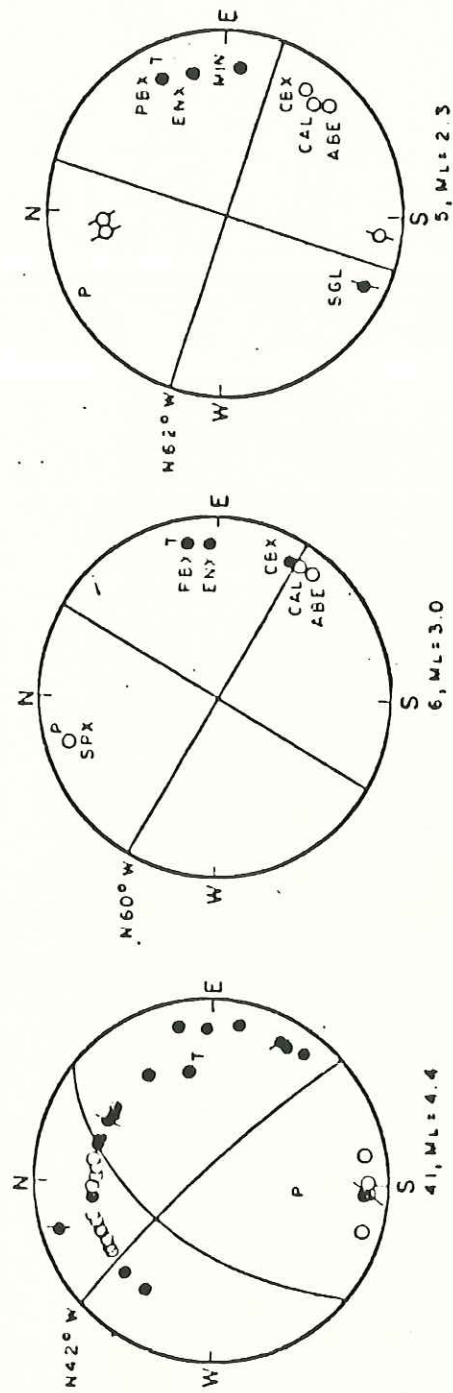


Fig.31 Soluciones de mecanismo focal obtenidas por Rebollar y Reichle (1987) para tres eventos ocurridos en las Cordilleras Peninsulares del norte de Baja California. La localización del sismo indicado como C41 ($M = 4.4$) se presenta en la Tabla IV. Las localizaciones de los otros dos sismos (C6 y C5) aparecen en la Figura 27 (no se tiene su localización exacta en coordenadas).

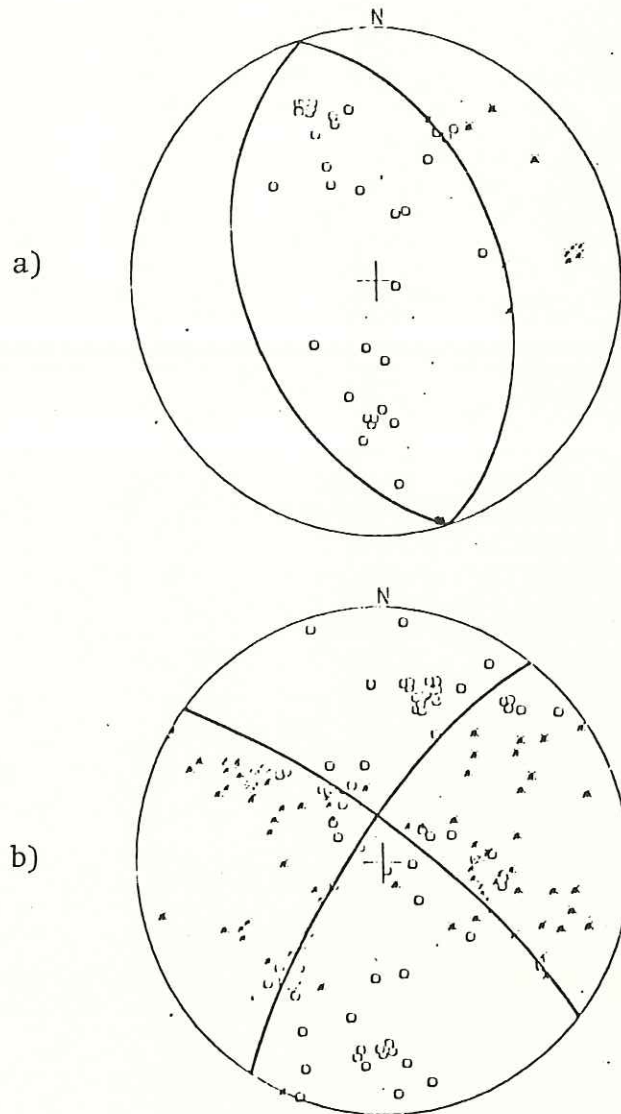


Fig.32 Soluciones de mecanismo focal compuesto para un sector de la Falla San Miguel (solución a) y para el Valle de Ojos Negros (solución b). Estos sectores se indican en la Figura 27 como SOa y SOb.

toma como plano de falla el que tiene dirección NW. Las soluciones de Nava y Brune (1983) y Rebollar y Reichle (1987) se apoyan por una buena calidad en los datos. Las soluciones de Soares (1980) son de carácter compuesto y fueron obtenidas en base a eventos ocurridos en dos sectores de la Falla San Miguel (áreas 50a y 50b, Fig. 27).

III.4. - Cuenca del Salton.

III.4.1. - Introducción.

Las localizaciones de los eventos estudiados para esta provincia son, en general, de buena calidad. Sin embargo, en los eventos localizados al sur de la frontera con los Estados Unidos, el error en la latitud se incrementa debido a la menor cobertura de estaciones en el lado mexicano. La utilización de los tiempos de arribo de unas cuatro estaciones de la Red Local de Cerro Prieto, que funcionó durante casi todo el periodo de estudio, contribuye en gran medida a aliviar este problema. Gracias a estos datos, se pudieron hacer determinaciones de profundidad en dos de los casos al sur de la frontera. Se utilizan los datos de polaridad de estaciones telesísmicas reportados por el USGS en el Reporte de Datos Sísmicos, para los eventos ocurridos

en las vecindades de las Fallas Laguna Salada en febrero de 1987 y Superstition Hills de noviembre de 1987 (#5 y #6, Fig. 60).

III.4.2. - Estructura y Localización Hipocentral.

Para los propósitos de este estudio, la provincia ha sido subdividida en Sierras del Oeste, Valle Norte y Valle Sur, utilizándose respectivamente para cada caso los modelos WEST-MESA, MC.VNOR y MC.VSUR (Fig. 14). Los modelos MC.NOR y MC.SUR son tomados de Frez y González (1989) quienes los utilizaron en un estudio acerca de la sismicidad y los mecanismos focales en el Valle de Mexicali-Imperial durante 1973 y 1985. El modelo de WEST-MESA es el determinado por Fuis et al, (1982) para la parte oeste del Valle Imperial en base a perfiles de refracción sísmica. Utilizando modelos más locales y con la ventaja de que en la región de la Cuenca del Salton hay un mejor cubrimiento de estaciones, las localizaciones obtenidas con estaciones cercanas resultan más exactas. El error promedio en la posición de los hipocentros es de aproximadamente 2 km.

La distancia máxima de las estaciones usadas en la localización es de 65 km cuando se tienen estaciones a menos de 15 km del epicentro. Cuando no es así, se hace la

localización con estaciones de hasta una distancia de 100 km. Este último criterio se utilizó con ocho eventos en las Sierras del Oeste, uno en el norte del valle y dos en el sur del valle. Se utilizan correcciones para los tiempos de arribo en las estaciones del valle (Frez y González, 1986). Las localizaciones de los eventos estudiados en esta provincia se presentan en la Tabla VII y en la Figura 33.

Para esta provincia, las determinaciones de la profundidad de los eventos son mejores que en las dos provincias anteriores. El error en profundidad (columna 14, Tabla VII), es, para el Valle Norte y las Sierras del Oeste, de aproximadamente 1 km. En los eventos del Valle Sur, hubo que fijar la profundidad en los cuatro eventos en que se pudo calcular el mecanismo focal. El problema es que, a pesar de contar con estaciones de la Red Cerro Prieto, solamente en dos casos alguna se encontraba a menos de 15 km del epicentro. En los otros dos casos, la lectura de tiempo de arribo de la estación más cercana tiene un error en la hora, por lo que no se pudo usar esta lectura.

III.4.3. - Mecanismos Focales.

En las Figura 34 se presenta el detalle de cada uno de los mecanismos focales de los eventos de calidad buena y

TABLA VII

Localizaciones de sismos ubicados en la Cuenca de Salton, que presentan calidad buena y moderada en la solución del mecanismo focal. Los indicados con una M en la primera columna corresponden a las Sierras del Oeste, con una N a los de el norte del valle y con una S, a los del sur del valle.

| | FECHA | HRMN | SEG | LATITUD | LONGITUD | PROF (KM) | MAG | N | GAP | DMIN (KM) | RMS | ERH | ERZ | QM | 0 A A A | 0 B A B | 0 T A T | 0 P A P | | | | | |
|-----|--------|------|-------|----------|-----------|--------------|-------|-----|-----|--------------|------|------|------|-----|---------|---------|---------|---------|-----|-----|-----|-----|----|
| M1 | 820329 | 20 | 8 | 26.46 | 32-58.12 | 115-54.45 | 6.09 | 3.6 | 19 | 86 | 8.0 | 0.22 | 0.8 | 1.2 | B1 | 30 | 90 | 300 | 70 | 77 | 21 | 343 | 21 |
| M2 | 840408 | 1950 | 40.26 | 32-29.35 | 115-26.79 | 7.00* | 3.4 | 26 | 171 | 24.3 | 0.30 | 1.3 | 1.5 | C1 | 22 | 90 | 293 | 90 | 67 | 0 | 339 | 0 | |
| M3 | 840514 | 23 | 6 | 30.16 | 32-24.49 | 115-19.89 | 7.37 | 3.8 | 13 | 136 | 2.8 | 0.22 | 1.5 | 1.3 | C1 | 10 | 80 | 282 | 90 | 55 | 72 | 327 | 72 |
| M4 | 840515 | 1711 | 36.38 | 32-26.67 | 115-18.88 | 8.10 | 3.5 | 12 | 3 | 16.5 | 0.13 | 1.0 | 0.8 | B1 | 23 | 65 | 281 | 65 | 64 | 40 | 334 | 0 | |
| M5 | 850203 | 1748 | 21.01 | 32-34.14 | 115-39.81 | 6.70 | 3.8 | 15 | 213 | 10.6 | 0.09 | 0.7 | 0.5 | C1 | 41 | 90 | 287 | 90 | 62 | 0 | 301 | 0 | |
| M6 | 850603 | 653 | 27.31 | 33- 1.80 | 115-59.39 | 7.00* | 3.5 | 41 | 44 | 16.1 | 0.30 | 0.7 | 1.1 | C1 | 230 | 80 | 323 | 80 | 280 | 0 | 5 | 20 | |
| M7 | 851119 | 1243 | 55.96 | 32- 9.60 | 115-33.42 | 7.00* | 3.4 | 10 | 277 | 56.5 | 0.28 | 10.3 | ---- | D1 | 214 | 70 | 303 | 80 | 258 | 70 | 350 | 0 | |
| M8 | 861007 | 440 | 23.79 | 32-24.45 | 115-21.23 | 7.00* | 3.5 | 15 | 235 | 51.0 | 0.20 | 2.6 | ---- | D1 | 45 | 90 | 315 | 90 | 90 | 0 | 0 | 0 | |
| M9 | 870207 | 345 | 12.84 | 32-12.80 | 115-17.72 | 7.56 | 5.4 | 7 | 277 | 16.4 | 0.08 | 9.3 | 2.4 | D1 | 7 | 90 | 278 | 90 | 54 | 0 | 143 | 0 | |
| M10 | 870207 | 959 | 35.17 | 32-23.53 | 115-19.06 | 7.00* | 3.7 | 11 | 236 | 53.3 | 0.15 | 2.5 | ---- | D1 | 237 | 60 | 130 | 70 | 275 | 50 | 4 | 0 | |
| M11 | 871124 | 132 | 47.99 | 33- 4.02 | 115-47.72 | 6.34 | 4.2 | 15 | 60 | 9.6 | 0.18 | 0.7 | 1.1 | B1 | 200 | 80 | 290 | 90 | 245 | 5 | 336 | 5 | |
| M12 | 871124 | 153 | 3.05 | 33- 4.16 | 115-47.71 | 6.39 | 4.0 | 15 | 61 | 9.3 | 0.19 | 0.8 | 1.1 | B1 | 35 | 90 | 306 | 80 | 82 | 10 | 347 | 5 | |
| M13 | 871124 | 154 | 14.34 | 33- 4.37 | 115-47.16 | 6.71 | 5.8 | 12 | 55 | 9.0 | 0.21 | 1.0 | 1.6 | B1 | 6 | 90 | 278 | 90 | 51 | 0 | 144 | 0 | |
| M14 | 871124 | 214 | 35.28 | 33- 1.42 | 115-49.93 | 5.99 | 4.5 | 14 | 68 | 7.6 | 0.13 | 0.6 | 1.0 | B1 | 38 | 90 | 126 | 70 | 84 | 13 | 348 | 20 | |
| M15 | 871124 | 253 | 0.52 | 33- 1.62 | 115-49.72 | 2.34 | 4.7 | 15 | 49 | 8.0 | 0.15 | 0.6 | 1.4 | B1 | 35 | 90 | 305 | 90 | 80 | 0 | 170 | 0 | |
| M16 | 871124 | 1315 | 56.24 | 33- 0.42 | 115-51.06 | 2.00* | 6.0 | 28 | 55 | 6.3 | 0.24 | 0.6 | 1.3 | B1 | 33 | 90 | 304 | 80 | 258 | 8 | 168 | 8 | |
| M17 | 871125 | 1354 | 9.77 | 32-58.50 | 115-50.00 | 2.00* | 4.2 | 29 | 57 | 2.4 | 0.16 | 0.4 | 0.9 | B1 | 33 | 90 | 304 | 70 | 260 | 10 | 167 | 10 | |
| M18 | 871126 | 019 | 31.35 | 32-59.58 | 115-51.64 | 2.00* | 3.7 | 31 | 65 | 5.4 | 0.26 | 0.6 | 1.6 | B1 | 142 | 70 | 324 | 20 | 50 | 20 | 231 | 60 | |
| M19 | 871126 | 156 | 27.31 | 32-58.86 | 115-50.64 | 2.17 | 4.7 | 16 | 67 | 3.4 | 0.15 | 0.5 | 1.3 | A1 | 192 | 70 | 274 | 70 | 53 | 30 | 324 | 0 | |
| M20 | 871126 | 1739 | 1.96 | 33- 1.14 | 115-54.24 | 5.00* | 3.9 | 29 | 16 | 56.1 | 0.27 | 0.7 | 1.3 | C1 | 229 | 60 | 310 | 80 | 81 | 30 | 181 | 10 | |
| M21 | 871127 | 110 | 10.27 | 32-58.95 | 115-49.87 | 8.73 | 4.7 | 17 | 48 | 3.1 | 0.15 | 0.6 | 0.7 | B1 | 197 | 70 | 272 | 60 | 53 | 40 | 324 | 3 | |
| M22 | 871127 | 922 | 57.43 | 32-59.84 | 115-49.08 | 2.54 | 4.1 | 17 | 40 | 4.7 | 0.15 | 0.5 | 1.3 | A1 | 236 | 70 | 313 | 60 | 94 | 50 | 3 | 0 | |
| M23 | 871128 | 039 | 11.28 | 32-58.60 | 115-49.60 | 2.08 | 4.2 | 17 | 42 | 2.4 | 0.13 | 0.5 | 1.1 | A1 | 192 | 60 | 265 | 60 | 42 | 40 | 321 | 0 | |
| M24 | 871202 | 4 | 3 | 12.17 | 32-59.31 | 115-49.78 | 3.51 | 4.0 | 20 | 43 | 3.7 | 0.16 | 0.5 | 1.0 | B1 | 30 | 90 | 300 | 90 | 75 | 0 | 165 | 0 |
| M25 | 871203 | 19 | 4 | 36.32 | 32-59.97 | 115-53.42 | 2.00* | 3.1 | 29 | 56 | 7.9 | 0.30 | 0.8 | 1.7 | B1 | 199 | 90 | 286 | 7 | 64 | 15 | 148 | 0 |
| N1 | 820810 | 1838 | 3.53 | 32-55.52 | 115-31.16 | 11.01 | 3.7 | 17 | 75 | 10.4 | 0.09 | 0.3 | 0.3 | A1 | 55 | 70 | 167 | 55 | 292 | 5 | 197 | 40 | |
| N2 | 830713 | 2116 | 47.51 | 33-12.38 | 115-31.90 | 6.66 | 4.6 | 21 | 46 | 9.6 | 0.15 | 0.5 | 1.1 | B1 | 44 | 80 | 309 | 80 | 89 | 70 | 1 | 0 | |
| N3 | 831115 | 5 | 5 | 8.86 | 33- 2.98 | 115-32.88 | 10.04 | 3.5 | 21 | 47 | 5.4 | 0.10 | 0.3 | 0.4 | A1 | 57 | 70 | 336 | 70 | 106 | 0 | 198 | 30 |
| N4 | 831115 | 11 | 3 | 6.53 | 33- 2.44 | 115-33.30 | 9.62 | 3.3 | 21 | 49 | 6.1 | 0.11 | 0.4 | 0.4 | A1 | 59 | 70 | 342 | 60 | 291 | 10 | 144 | 40 |
| N5 | 840423 | 1431 | 12.36 | 32-54.87 | 115-31.42 | 10.96 | 3.0 | 18 | 82 | 7.5 | 0.08 | 0.4 | 0.3 | A1 | 57 | 70 | 326 | 90 | 100 | 15 | 194 | 15 | |
| N6 | 840429 | 1219 | 1.85 | 32-58.30 | 115-31.24 | 9.89 | 3.2 | 21 | 64 | 5.3 | 0.11 | 0.4 | 0.4 | A1 | 33 | 80 | 133 | 50 | 269 | 15 | 167 | 30 | |
| N7 | 850829 | 456 | 4.59 | 32-53.10 | 115-29.99 | 9.42 | 3.2 | 20 | 85 | 6.4 | 0.10 | 0.3 | 0.4 | A1 | 29 | 50 | 312 | 70 | 74 | 80 | 179 | 50 | |
| N8 | 860217 | 1058 | 38.00 | 32-57.88 | 115-32.60 | 10.02 | 3.3 | 23 | 65 | 3.1 | 0.12 | 0.4 | 0.3 | A1 | 50 | 90 | 320 | 90 | 95 | 0 | 5 | 0 | |
| N9 | 860405 | 1721 | 48.67 | 33-21.10 | 115-42.50 | 7.83 | 3.9 | 26 | 37 | 8.6 | 0.12 | 0.3 | 0.5 | B1 | 57 | 90 | 327 | 70 | 105 | 10 | 11 | 10 | |
| N10 | 870124 | 14 | 6 | 9.64 | 32-59.14 | 115-31.64 | 12.78 | 3.4 | 9 | 107 | 8.0 | 0.08 | 0.9 | 0.6 | B1 | 66 | 0 | 336 | 0 | 111 | 0 | 21 | 0 |
| S1 | 840531 | 2331 | 47.44 | 32-18.76 | 115-11.84 | 5.00* | 4.1 | 24 | 120 | 15.4 | 0.66 | 2.3 | 7.1 | D1 | 69 | 85 | 341 | 55 | 302 | 30 | 200 | 15 | |
| S2 | 860624 | 1313 | 6.70 | 32-24.70 | 115-15.51 | 7.00* | 4.3 | 12 | 132 | 6.1 | 0.39 | 6.9 | 9.6 | C1 | 61 | 60 | 260 | 15 | 337 | 15 | 137 | 75 | |
| S3 | 860706 | 1634 | 37.52 | 32-32.55 | 115-12.96 | 7.00* | 3.3 | 11 | 217 | 36.7 | 0.09 | 0.9 | 2.0 | C1 | 58 | 80 | 330 | 80 | 286 | 0 | 12 | 15 | |
| S4 | 860907 | 550 | 26.81 | 32-28.07 | 115- 5.17 | 7.00* | 3.5 | 13 | 229 | 44.0 | 0.10 | 1.4 | 18.9 | D1 | 105 | 60 | 305 | 40 | 307 | 70 | 216 | 5 | |

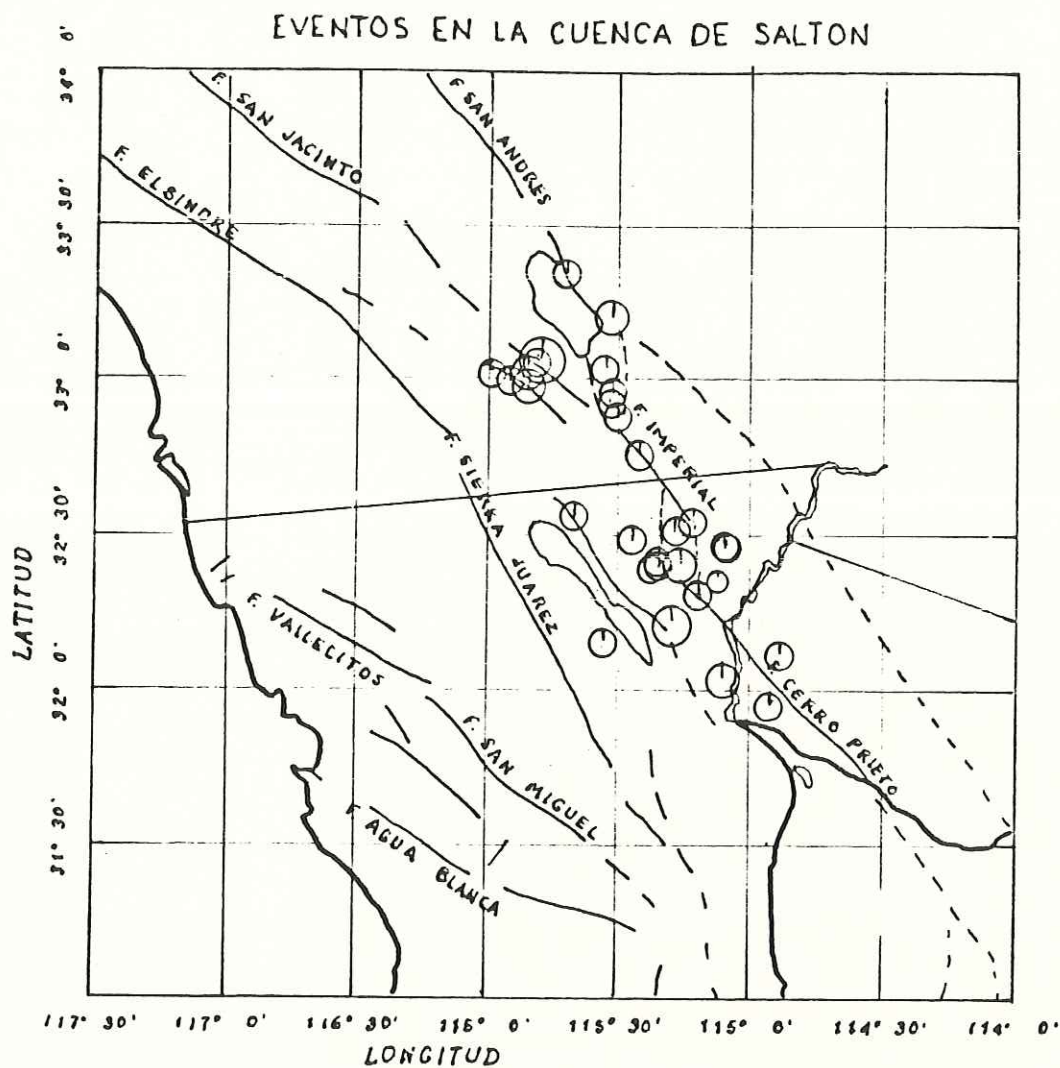


Fig.33 Determinaciones epicentrales de los eventos ubicados en la Cuenca de Salton entre los 31°N y los 33°N . Se incluyen los casos de buena, moderada y mala calidad en la solución del mecanismo focal.

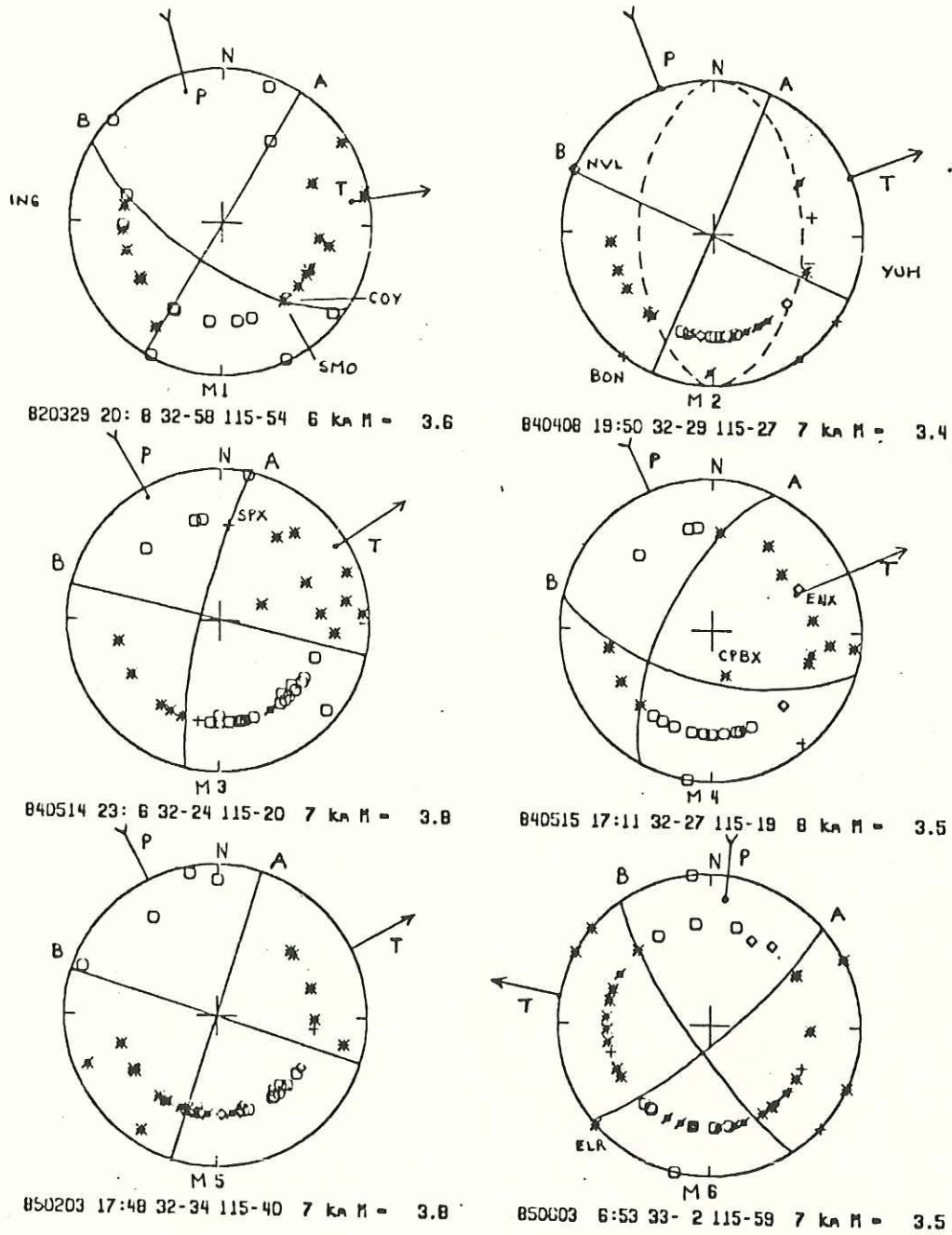


Fig.34 Mecanismos focales de sismos localizados en la Cuenca de Salton. La simbología es la misma que la que aparece en la Figura 18. Se incluyen los casos de calidad buena y moderada en la solución del mecanismo focal. Los de mala calidad se presentan en el apéndice.

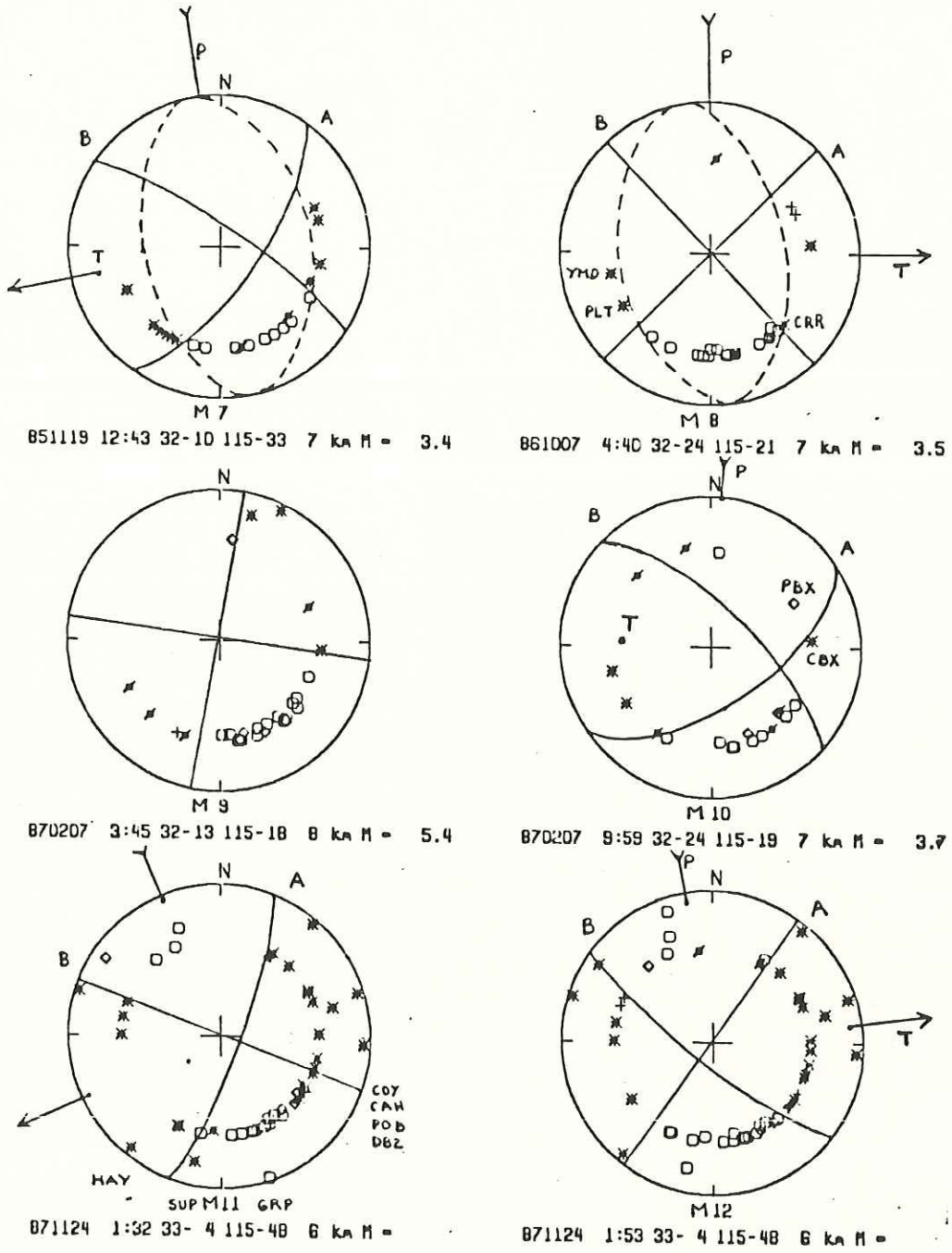


Fig.34 (continuación)

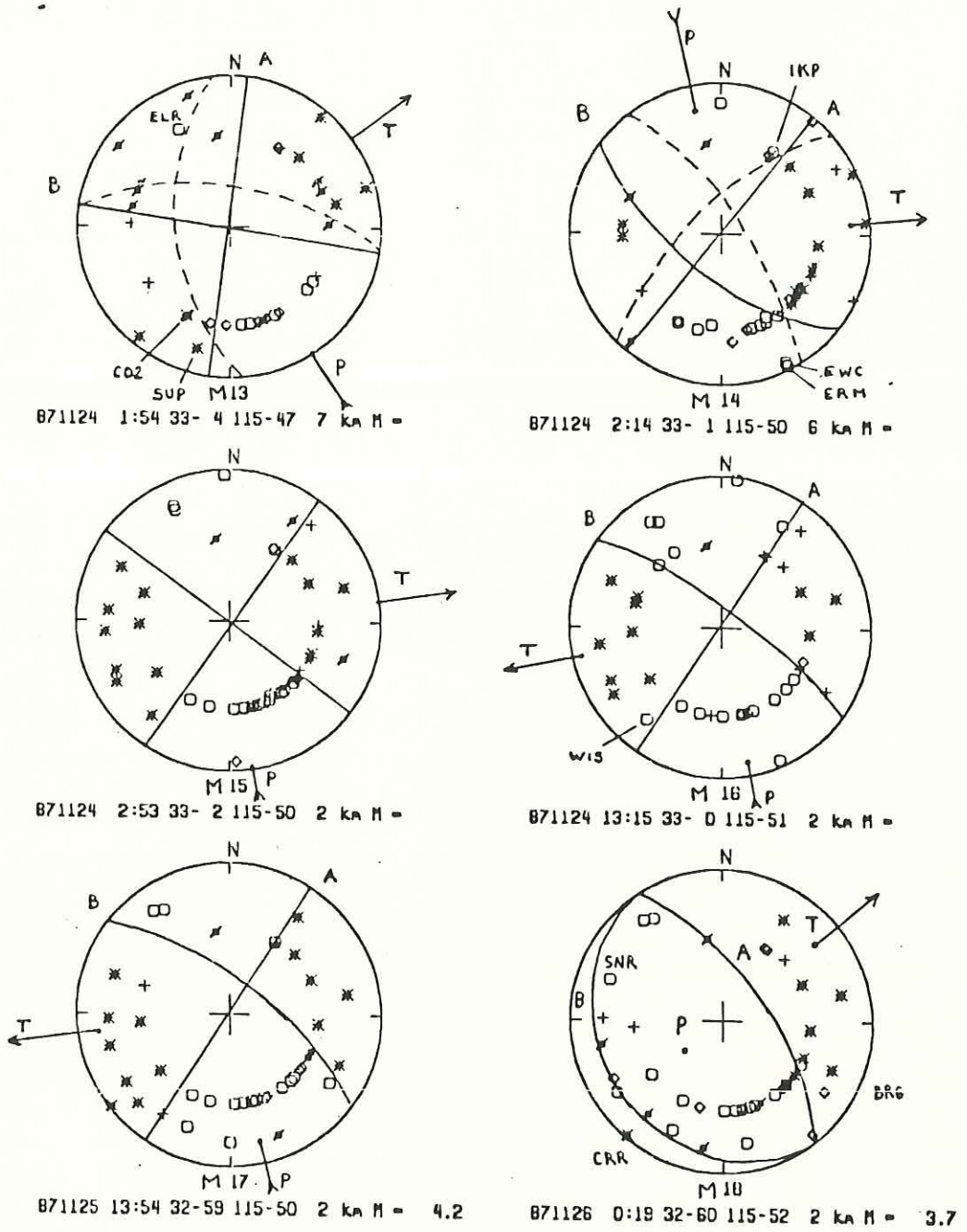


Fig.34 (continuación)

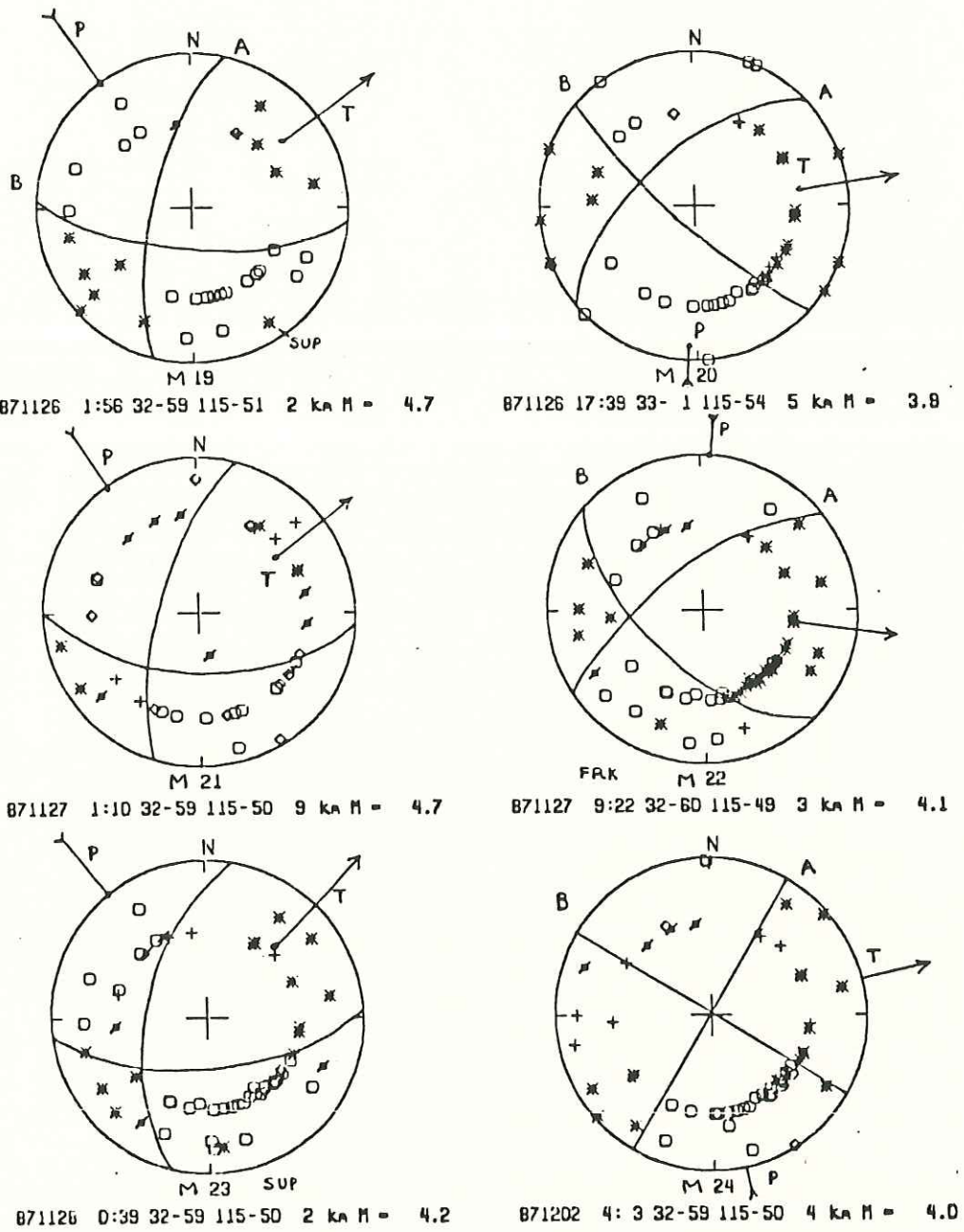


Fig.34 (continuación)

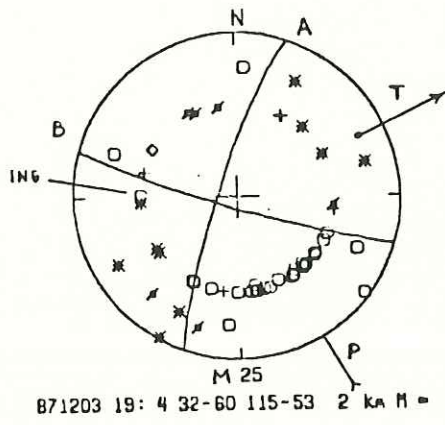


Fig.34 (continuación)

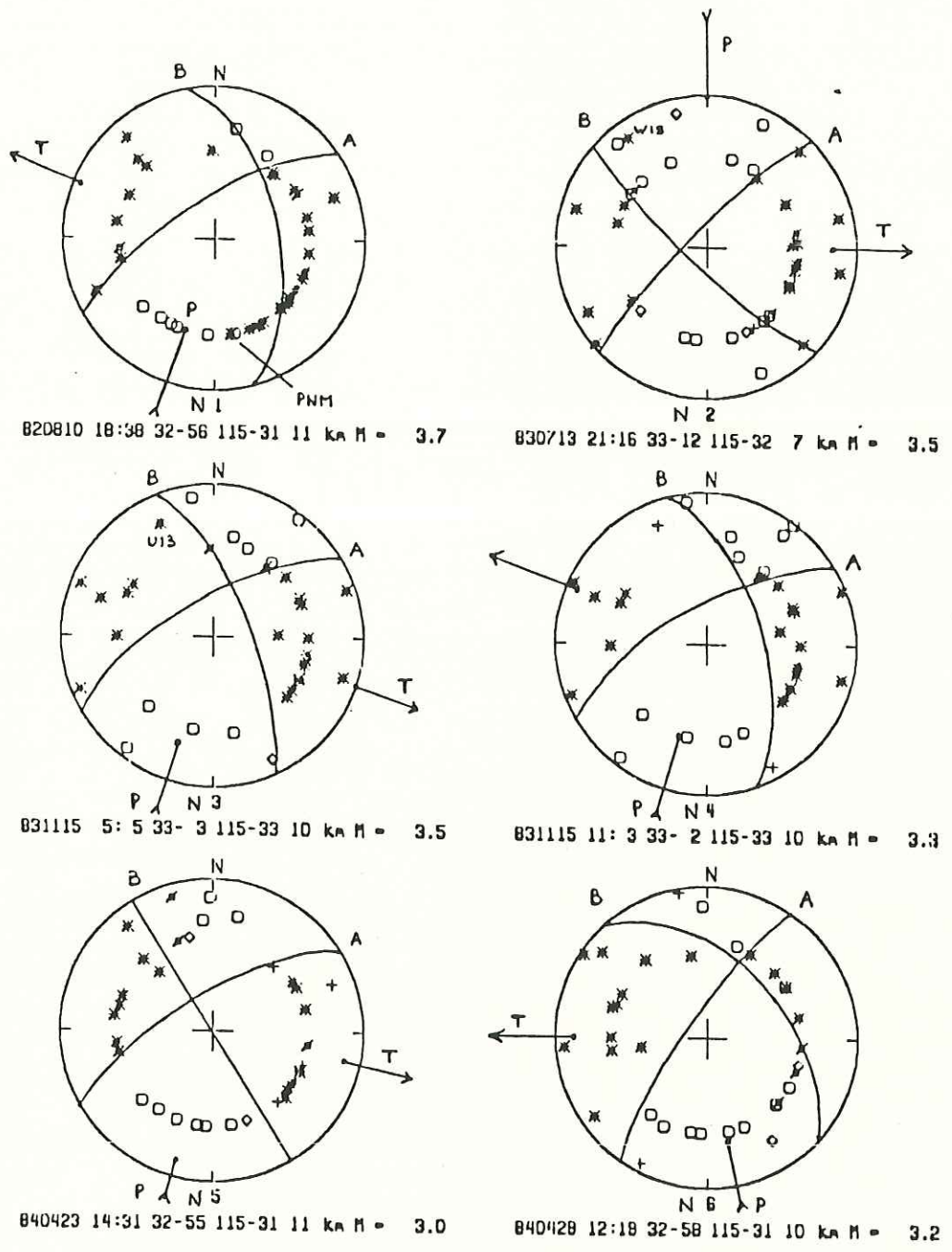


Fig.34 (continuación)

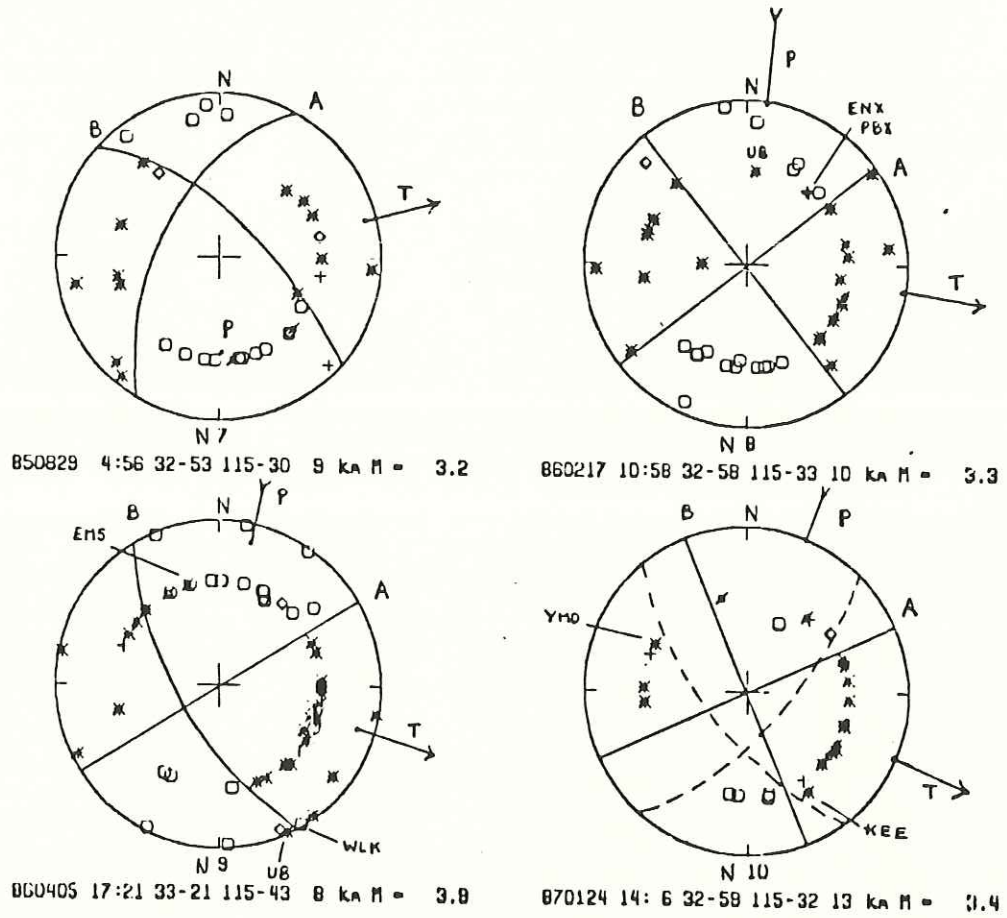


Fig.34 (continuación)

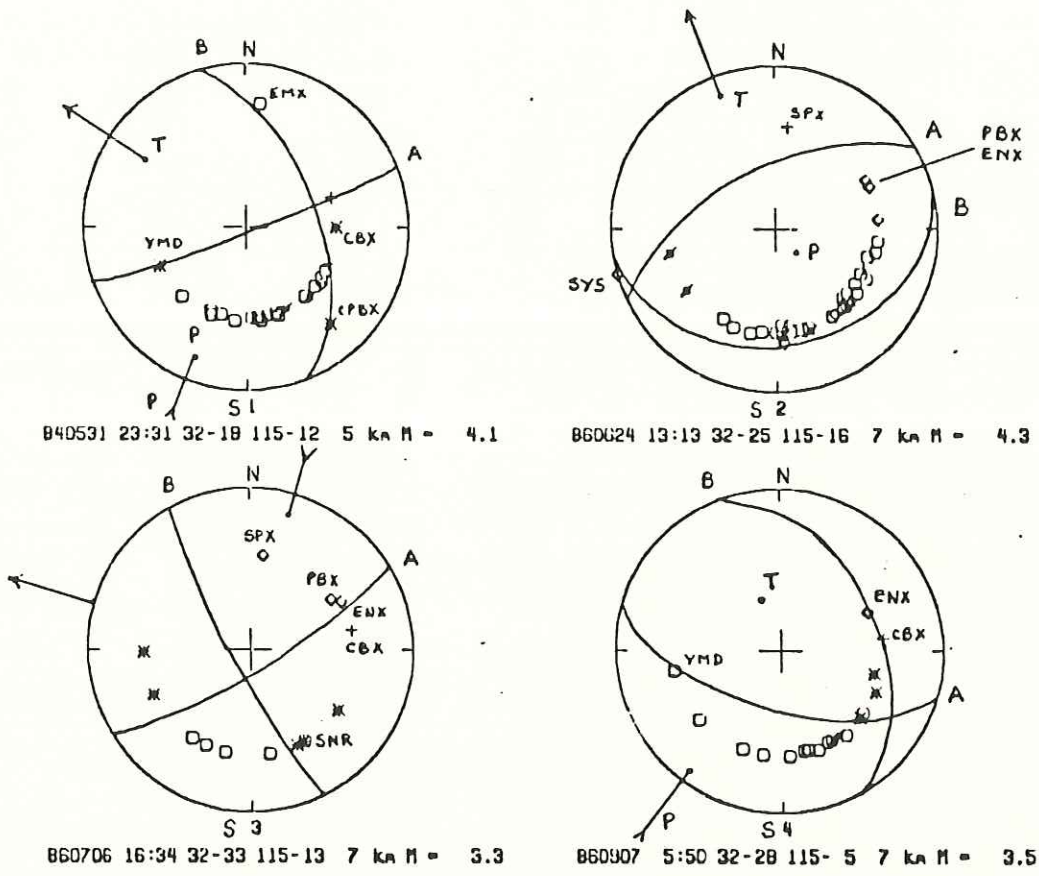


Fig.34 (continuación)

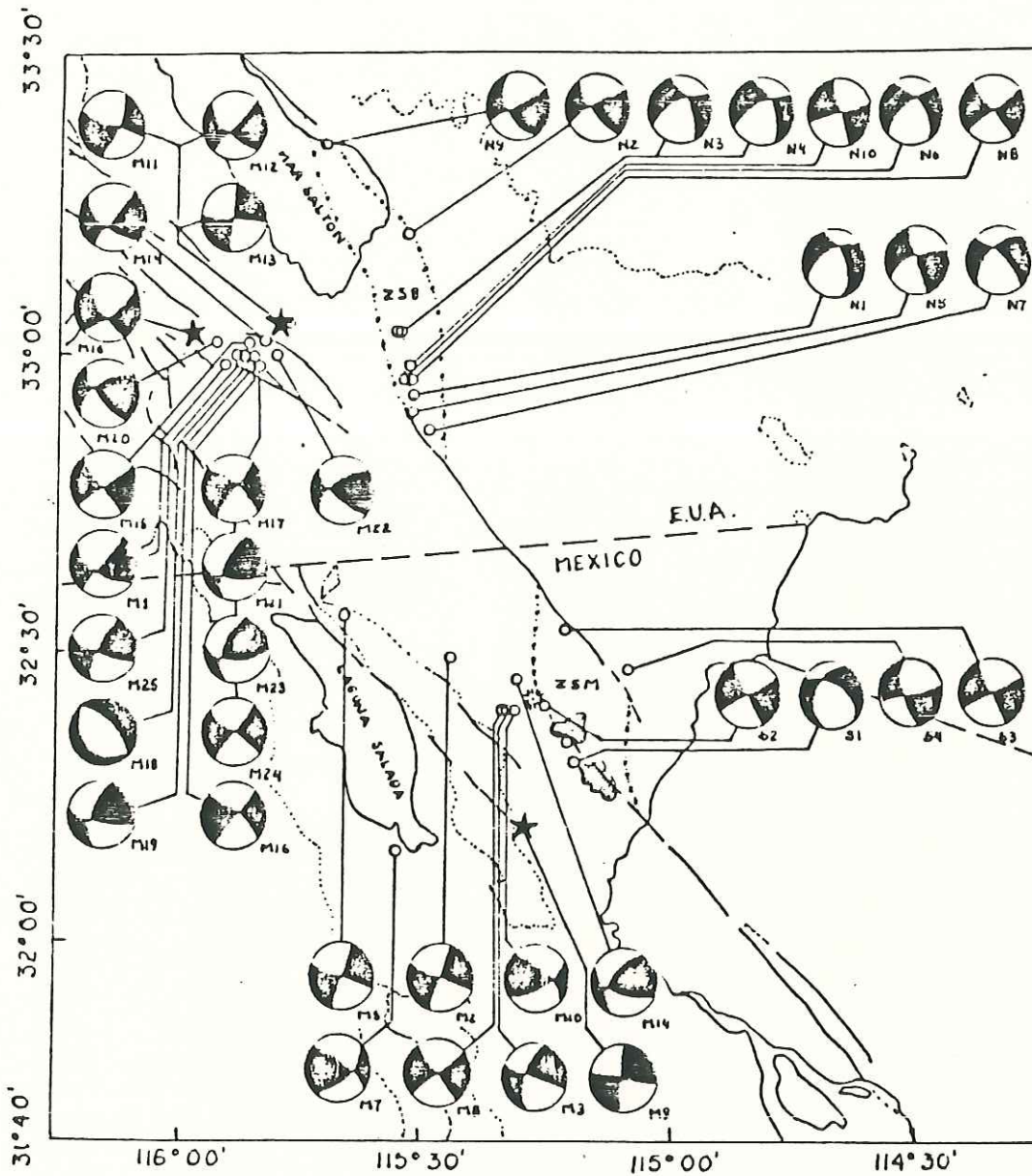


Fig.35 Determinaciones del mecanismo focal para los eventos estudiados en la Cuenca de Salton. Los números identifican la solución en la Figura 34. Las estrellas indican sismos con magnitud mayor que 5.0 ocurridos durante el periodo de estudio.

moderada para la región del Valle. El conjunto de soluciones obtenidas se presentan en la Figura 35.

Eventos de buena calidad:

Los eventos de calidad buena constituyen cerca del 70% de las soluciones obtenidas para la Cuenca del Salton. Se cuenta con buena cobertura azimutal en la mayoría de los eventos ocurridos al norte de la frontera. Esto se debe a una mayor densidad de estaciones del USGS-Caltech en el Valle Imperial. Se incluyen ocho eventos de $M < 3.5$ en las soluciones. A continuación, se presenta la lista de eventos que caen en esta categoría.

Sierras del Oeste.

M1 820329 20:08
M3 840514 23:06
M4 840515 17:11
M5 850203 17:48
M6 850603 06:53
M10 870207 09:59
M11 871124 01:32
M12 871124 01:53
M15 871124 02:53

M16 871124 13:15

M17 871125 13:54

M19 871126 01:56

M20 871126 17:34

M21 871127 01:10

M22 871127 09:22

M23 871128 00:39

M24 871202 04:03

M25 871203 19:04

Valle Norte.

N1 820210 18:38

N2 820713 21:16

N3 831115 05:05

N4 831115 11:03

N5 840423 14:31

N6 840429 12:19

N7 850829 04:56

N8 860217 10:58

N9 860405 17:21

Valle Sur.

S1 840531 23:31

S2 860624 13:13

S3 860706 16:34

S4 860907 05:50

Eventos de calidad moderada:

Sierras del Oeste.

M2 - 840408 19:50. En este evento se obtiene una solución de rumbo (línea gruesa) apoyada la lectura de NVL (Red Cerro Prieto). Este dato quita peso a la otra solución posible (línea quebrada).

M7 - 851119 12:43, #8 - 861007 04:40, #9 - 870207 03:45. Estos tres casos están muy cercanos en tiempo y espacio y además, presentan mecanismos focales muy similares. Los tres pueden ser de rumbo o de tipo normal. Basándonos en la orientación del plano de falla en el terreno se tiende a preferir la solución de rumbo en los tres casos ya que los eventos se pueden asociar a la falla Laguna Salada descrita en la literatura como falla de rumbo lateral-derecha (Gastil, 1979) y concordante con la orientación del plano B de las soluciones.

#13 - 871124 01:54. En este evento se prefiere la

solución en línea continua ya que satisface bien los datos y porque la otra posible solución (en línea quebrada) no satisface la amplitud grande de la lectura de ELR.

M14 - 871124 02:14. Se prefiere la solución en línea continua porque a pesar de que la segunda solución (línea quebrada) es muy similar, las amplitudes de IKP, EWC y ERM se ajustan mejor a la primera.

M18 - 871126 00:19. Este caso presenta una solución de tipo normal apoyada por la distribución azimutal de las dilataciones (SNR es lectura crítica) las cuales cubren dos cuadrantes casi en forma continua. Sin embargo, existen varias contradicciones aunque éstas son de pequeña amplitud y por eso se deja como de calidad moderada.

Valle Norte.

N10 - 870124 14:06. En este caso la solución está controlada por las amplitudes grandes que se encuentran en las estaciones YMD y KEE. Esto da preferencia a la solución en línea continua.

Eventos de mala calidad:

Las soluciones son mostradas en el apéndice y la lista

de los eventos aparece en la Tabla VIII. Se obtienen 12 eventos de éste tipo, contra 39 de calidad buena y moderada. La mayoría de estos casos se localizan al sur de la frontera. Con excepción de un solo evento, todos presentan $M < 3.5$.

III.4.4. - Dirección de los ejes T y P.

En la Figura 40, #5, donde se incluyen los resultados de las soluciones de rumbo, se obtuvo algo de dispersión en la dirección de los ejes T y P. Sin embargo, el ángulo de echado es pequeño en casi todos los casos, indicando que el tipo de mecanismo tiende a ser puramente de rumbo. En promedio, los ejes P y T se orientan con el N-S y con el E-W respectivamente. El plano B se orienta, en promedio, hacia el $N45^\circ$. En las soluciones con mecanismo de echado (Fig. 40, #6), el eje P se agrupa en el centro de la figura. Este patrón indica un movimiento preferentemente de tipo normal, con un plano de falla orientado en el eje N-S. Se incluyeron en la elaboración de esta figura las 47 soluciones de mecanismo focal de echado obtenidas por Frez y González (1987) para el periodo 1973-1985.

III.5.4. - Descripción de Resultados.

Se obtuvo un total de 34 soluciones de mecanismo focal para esta provincia. La mayoría de estos eventos corresponden al evento de Superstition Hills de noviembre de 1987. El resto ocurren principalmente cerca de la Falla Laguna Salada y, en las zonas sísmicas de Mexicali y de Brawley. La secuencia de eventos en febrero de 1987, cercana a la Falla Laguna Salada, se inicia en el extremo sur de la falla, con un evento principal (M9, Fig. 34) cuyo mecanismo es a rumbo lateral-derecho, si tomamos como plano de falla el que se orienta hacia el $N45^{\circ}W$. El tipo de solución de mecanismo focal es similar en todos los eventos de esta secuencia.

La segunda secuencia ocurre en la Falla Superstition Hills y consiste en dos sismos principales y una serie de réplicas. El primer sismo principal (M13, Fig. 34) se encuentra sobre una estructura lateral-izquierda (Magistrale et al, 1987) orientada hacia el NE, definida por un lineamiento de hipocentros que se extiende desde la falla Superstition Hills hasta la zona sísmica de Brawley (Fig. 36).

El análisis de los datos de polaridad (en su mayoría oscurecidos por un evento anterior), produce una solución

lateral-izquierda si suponemos que el plano de falla se orienta hacia el N-NW. Este plano coincide en dirección con la estructura lateral-izquierda descrita por Magistrale et al, (1987). En el primer evento y en dos réplicas (M14 y M15, Fig. 34), el plano de falla estaría indicado por la letra A. La profundidad de este primer evento es de 7 km. Las réplicas alcanzan magnitudes de hasta 4.0 y continúan activas en pequeños grupos hasta que 12 horas después ocurre un segundo sismo principal (M16, Fig. 34). Este sismo ocurre, junto con sus réplicas, a una profundidad aproximada de 2 km según la determinación realizada en esta Tesis.

El hecho de que los eventos se localicen más superficiales a medida que van ocurriendo más al este sugiere que existe relación entre el foco sísmico y la profundidad del basamento cristalino (Magistrale et al, 1987). Los mecanismos focales del segundo sismo principal y las réplicas que ocurren después de éste, son de rumbo lateral-derecho, si se toma el plano B como plano de falla. Se localizan en el extremo norte de la Falla Superstition Hills y definen un alineamiento paralelo y muy cercano a esta falla (Fig. 36).

Otra parte de la sismicidad (10 sismos) estudiada se encuentra en la zona sísmica de Brawley. Los mecanismos en esta zona son a rumbo. El resto de los eventos estudiados

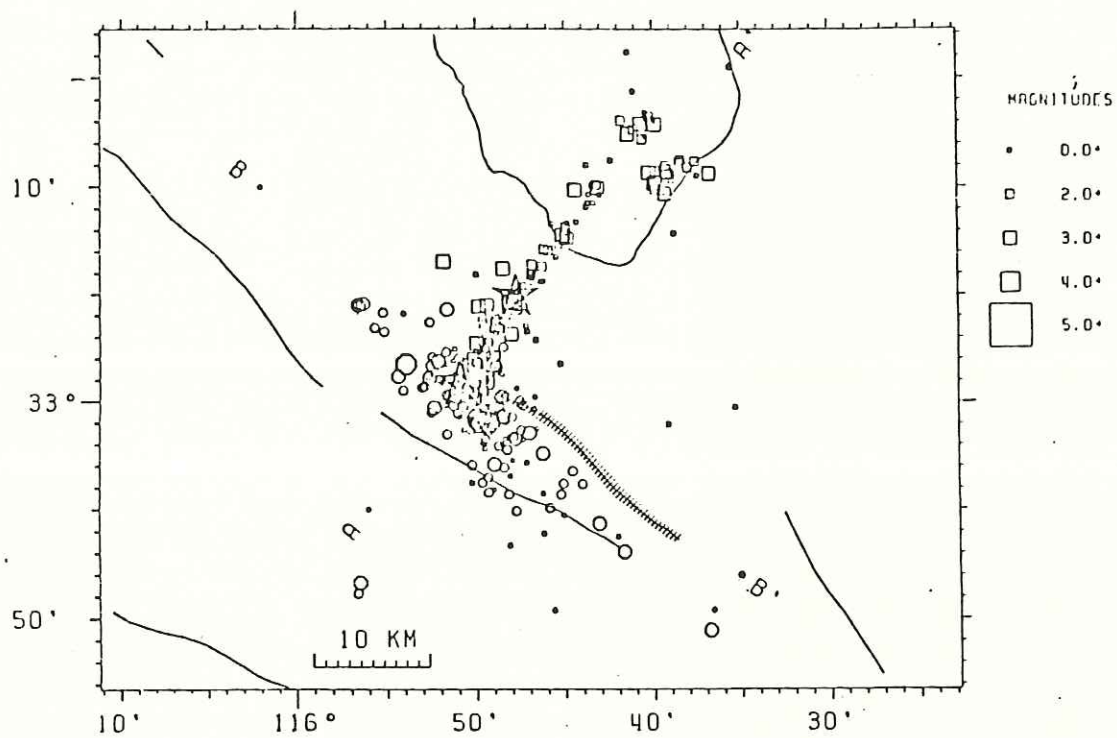


Fig.36 Determinaciones epicentrales obtenidas por Magistrale et al, (1988) para la secuencia de Superstition Hills de noviembre de 1987.

aparecen cercanos al Volcán Cerro Prieto y en los extremos norte y sur de la zona sísmica de Mexicali. En esta área, las soluciones son principalmente de rumbo. Sólo se presentaron dos eventos con fuerte componente normal (M18 y S1, Fig. 35) localizados uno en la Falla Superstition Hills y otro en la zona sísmica de Mexicali.

Los mecanismos focales obtenidos anteriormente hasta el año de 1985 son calculados por Frez y González (1989) (Fig. 37). En esta figura, se puede apreciar que los mecanismos son por lo general de rumbo a lo largo de las fallas y de tipo normal dentro de las zonas sísmicas. Tanto en su estudio como en esta Tesis, se obtienen cantidades menores de soluciones inversas para la Cuenca de Salton.

En el área correspondiente a la cabeza del Golfo de California, no se obtuvo ningún evento de $M > 3.5$ durante el periodo 1982-1987. Sin embargo, se ha registrado notable actividad sísmica en la Cuenca del Golfo en años anteriores. Uno de los trabajos acerca los mecanismos focales de sismos más importantes que han ocurrido desde 1963 es el realizado por Goff et al, (1987). Las soluciones por ellos obtenidas se ilustran en la Figura 38. Entre las soluciones al norte del golfo, se tiene un par de tipo normal con el plano de falla orientado hacia el NE y otro par de rumbo en la Falla de Cerro Prieto.

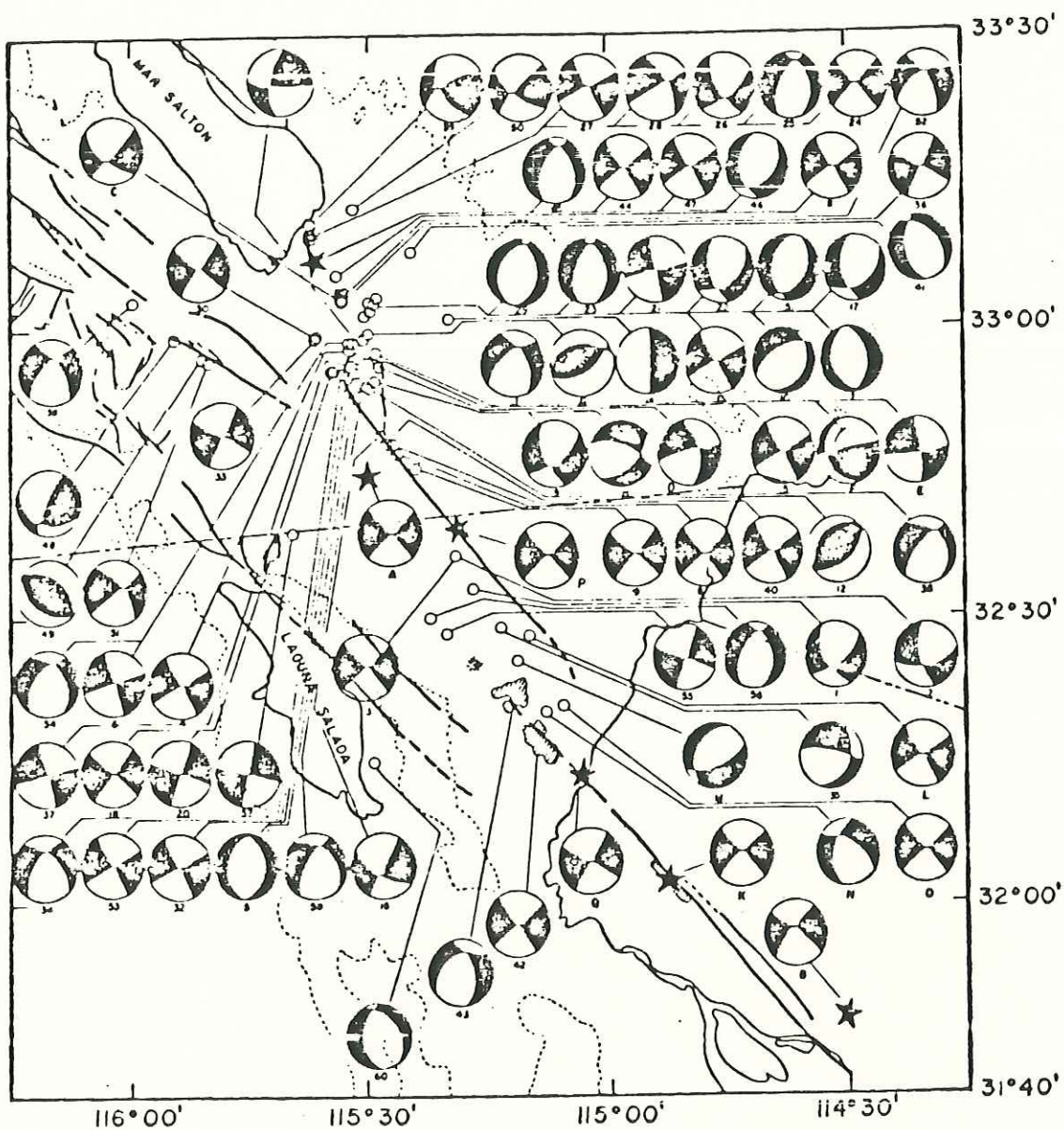


Fig.37 Soluciones de mecanismo focal de los sismos estudiados por Frez y González (1989). Las soluciones de otros autores se indican con letras. Soluciones M, N y O, González (1986), Solución L, Albores et al (1980); Soluciones de la F a la J, Johnson y Hadley (1976). Tomado de Frez y González (1989).

CAPITULO IV. - DISCUSION Y CONCLUSIONES.

Debido a que los datos de polaridad y de tiempos de arribo de las estaciones son la base de la Tesis y, a que la inclusión de la mayor cantidad posible de lecturas permite obtener resultados en las soluciones de mecanismos focales, es importante establecer algunas conclusiones acerca de la cantidad, calidad y almacenamiento de los datos.

Los datos aportados por RESNOR para cada sismo son, en promedio, provenientes de unas 5 estaciones. De éstas, las que aportan datos de polaridad con mayor frecuencia son ENX, PBX, CBX, SPX y CPBX. El resto de las estaciones presentan, en casi todos los casos con $M < 4.0$, sismogramas obscurecidos por ruido. Además, su uso potencial y efectivo es mucho más reducido debido a problemas operacionales (los datos han sido perdidos o borrados de las cintas que los almacenan).

La convención en la polaridad para las estaciones de RESNOR no era conocida con certeza para datos anteriores a 1987. La polaridad de algunas de sus estaciones se estuvo reportando en los boletines de los años 1982-1986, con la convención implícita equivocada. Con los resultados presentados en la Sección II.3.1 de esta Tesis y con las pruebas en la polaridad de la instrumentación de las

estaciones RESNOR realizadas por A. Vidal en 1988, se obtuvo una convención para corregir los datos de RESNOR durante el periodo 1982-1987.

En cuanto a los datos reportados por el USGS-CalTech, se contó con un promedio de 20 estaciones por sismo, en los casos que presentaron solución del mecanismo focal, incrementándose la cantidad de datos con el aumento en la magnitud del evento. La inspección directa de los sismogramas fue de gran utilidad pues en todos los eventos, al menos se revisaron cuatro datos de polaridad y amplitud para poder establecer o confirmar la solución planteada.

Los datos de redes locales temporales instaladas por CISECE contribuyen a definir la profundidad de los eventos cercanos a ellas (por ejemplo, la estación ISAD en el evento #40, Tabla VI). El trabajo de interpretar estos datos es más pesado que en los anteriores ya que hubo que ir directamente a los sismogramas para obtener los tiempos de arribo y polaridad de cada estación. No existen boletines en donde se reporten estos datos. La convención en la polaridad de estas estaciones no es la correcta por lo que se debe efectuar la revisión de la convención en la polaridad de las estaciones de las redes locales.

Los datos provenientes de el Reporte de Datos Sísmicos

del USGS donde se reportan las lecturas de polaridad de estaciones lejanas que fueron usadas para aquellos eventos con $M > 4.8$, son útiles para apoyar la solución del mecanismo focal del sismo de febrero 7 de 1987, $M = 5.4$ y del sismo de noviembre 24 de 1987, $M = 5.8$. En los otros cuatro eventos (Fig. 41) se presentaron datos contradictorios por lo que la solución quedó definida solamente con las lecturas de las redes RESNOR, CalTech y redes locales.

Se determinó un total de 117 soluciones de mecanismos focales de sismos, ocurridos en el norte de Baja California y sur de California durante el periodo 1982-1987. De estas 117 soluciones, 83 son de buena calidad y 34 de calidad moderada. Estos eventos representan 53% de los casos que se pretendió estudiar al inicio de la Tesis. Un 14% (31 sismos) quedaron fuera del estudio por no contarse con los datos de polaridad y de tiempo de arribo; el 33% restante (60 sismos) soluciones de mala calidad para el mecanismo focal correspondiente. Se obtuvieron 33 soluciones para el Borde Continental; 45 para la Cordillera Peninsular, y 39, para la Cuenca del Salton. Con esto y con los resultados aportados por otros autores acerca de los mecanismos focales de sismos en la región de estudio para años anteriores, se hace un muestreo de la sismicidad y el tipo de mecanismo focal en cada una de las provincias fisiográficas del área

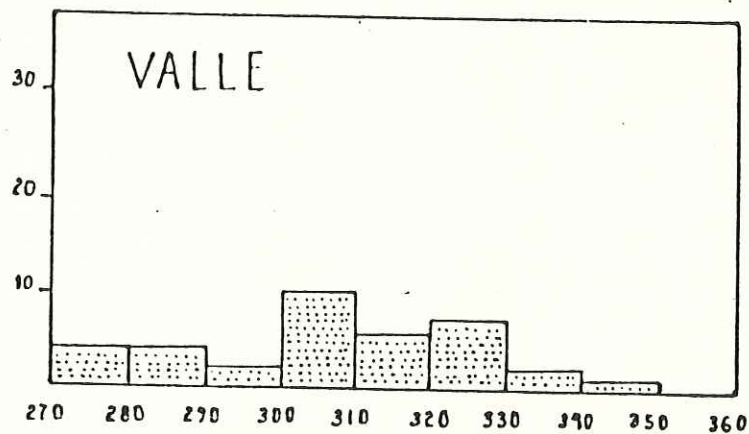
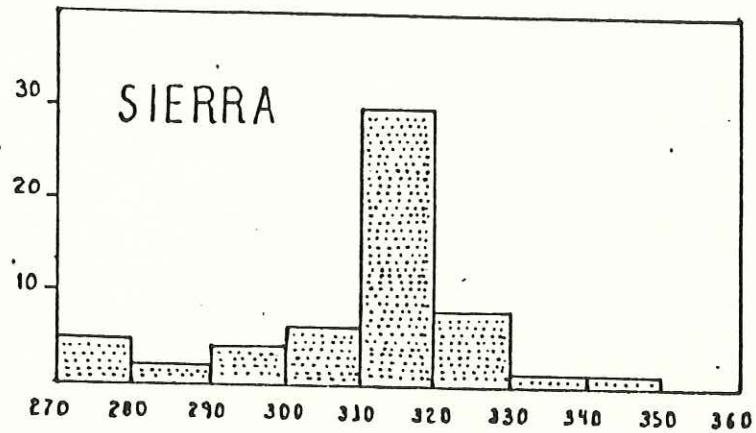
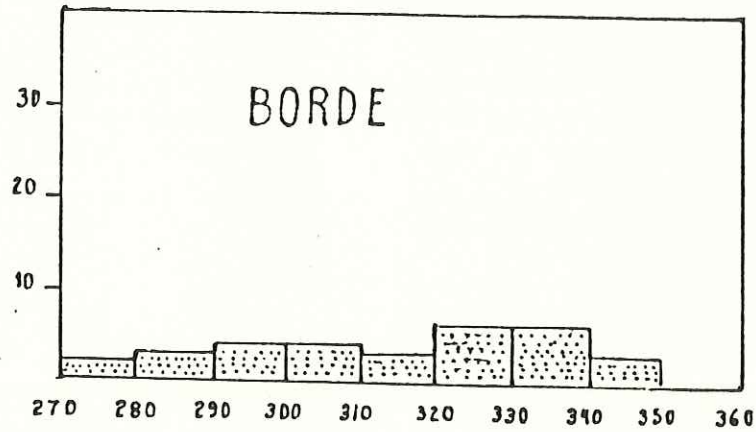


Fig.39 Orientación promedio de el plano B de las soluciones de mecanismo focal para las tres provincias estudiadas. El rumbo que predomina en la provincia de las Cordilleras Peninsulares refleja la orientación del trazo de la Falla San Miguel.

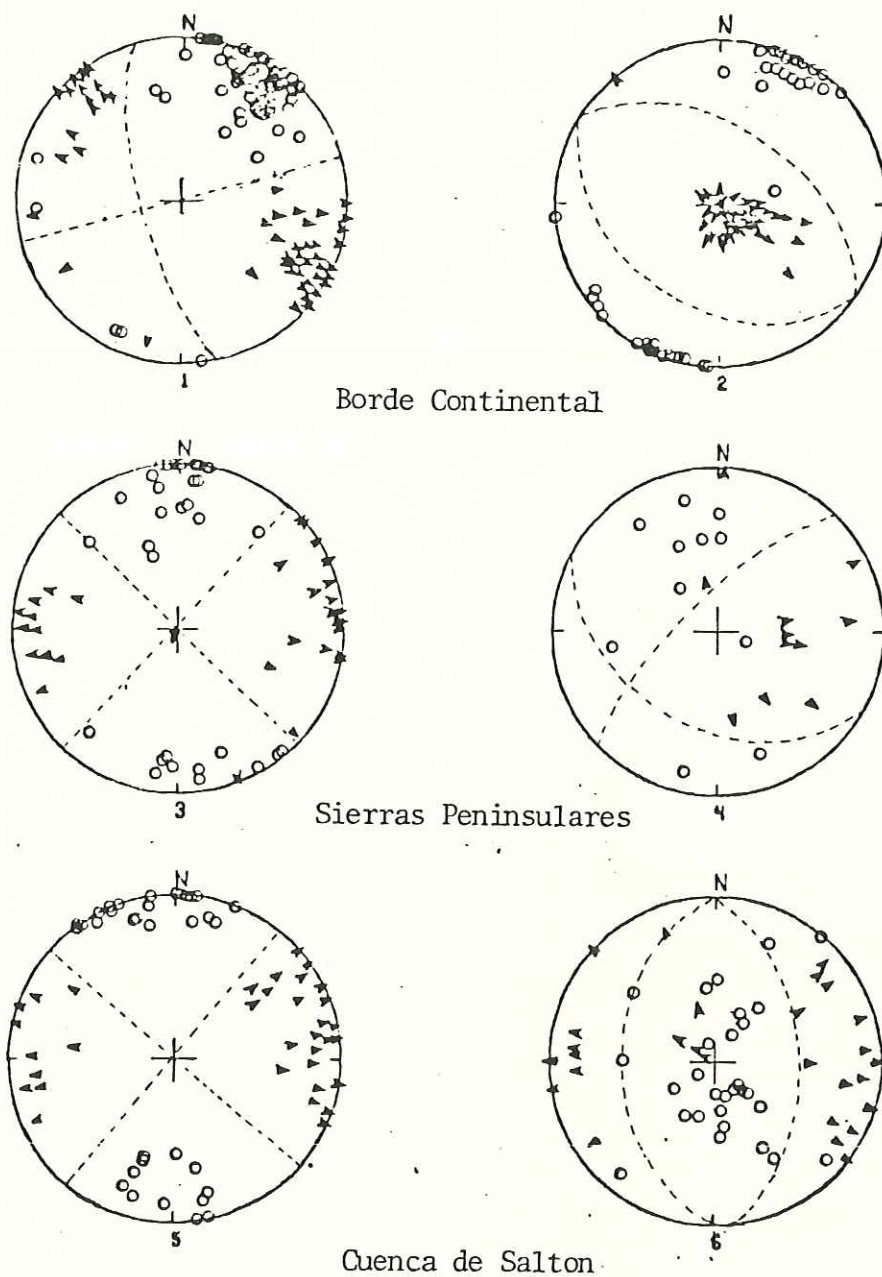


Fig.40 Orientaciones de los ejes T (triangulos) y P (círculos) de las soluciones de mecanismo focal. Los obtenidos para soluciones predominantemente de rumbo se grafican en las figuras 1, 3 y 5. Los obtenidos para las soluciones de echado, se grafican en las figuras 2, 4 y 6. El mecanismo focal que mejor se ajusta en los datos se indica con línea punteada.

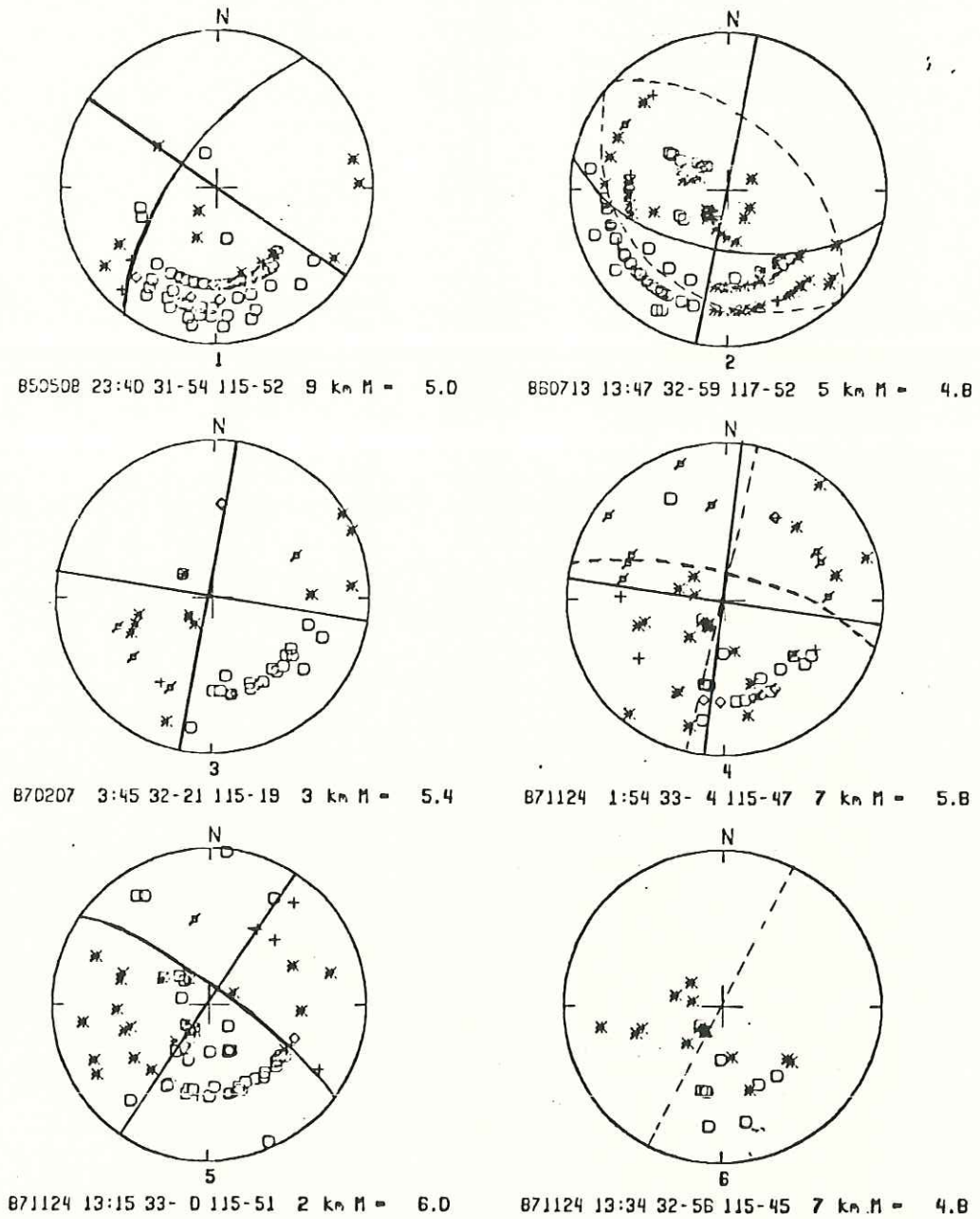


Fig.41 Soluciones de mecanismo focal de los eventos de magnitud mayor que 4.8, en los que se han incluido datos de estaciones tele-sísmicas reportadas en el Reporte de Datos Sísmicos del USGS-CalTec.

de estudio.

En general, las soluciones de los mecanismos focales pertenecen a secuencias del tipo "evento principal/réplicas". Las soluciones, pertenece a eventos que se concentran en las Fallas San Diego Trough, Rose Canyon, San Clemente, Coronado Banks, San Miguel, Sierra Juárez, Elsinore, Superstition Hills, Laguna Salada, Cerro Prieto y, en las zonas sísmicas de Brawley y Mexicali. Los eventos con mayor magnitud que fueron estudiados ocurren en la Cuenca del Salton, en las Fallas Laguna Salada y Superstition Hills. Esta característica coincide con lo que muestra la Figura 8 donde la sismicidad de $M > 5.0$ registrada en la región de estudio. concentrada en las Fallas Cerro Prieto, Laguna Salada y Superstition Hills.

Las soluciones de los mecanismos focales de sismos del Borde Continental Interno (Fig. 19), son de rumbo (25), inversos (12) y normales (5). ocho de las soluciones de tipo inverso ocurren en las Fallas de San Diego Trough y 3 en el extremo norte de la Falla Coronado Banks. Al parecer, existe una correlación entre el fallamiento inverso y los cambios en la orientación de la falla (por ejemplo, eventos #2, 3 y 5, Fig. 19). Esta relación ya ha sido sugerida por Magistrale et al, (1988) en base al estudio de la secuencia de Oceanside ocurrido donde la Falla San Diego Trough

comienza a orientarse más hacia el oeste a medida que se aproxima a la Isla Santa Catalina. Dos de las cuatro soluciones de tipo normal, que ocurren en el Borde Continental, pertenecen a la misma secuencia de Oceanside y se presentan inmediatamente después de ocurrido un evento con mecanismo focal inverso (eventos #22, 23, 24, 27 y 28, Fig. 19). El resto de las soluciones de tipo normal pertenecen al estudio de Legg et al, (1985) (soluciones D e I, Fig. 21).

Las soluciones de los sismos estudiados en las Cordilleras Peninsulares (Fig. 27) son de rumbo (36), inversas (5) y normales (6). Cuatro soluciones de tipo inverso se presentan entre las Fallas Imperial y San Jacinto (#13, 14, 7 y 29, Fig. 27) y una, en la Falla Sierra Juárez con los planos nodales (ambos) orientados en la misma dirección de la falla. Las soluciones de tipo normal aparecen en los sismos localizados en la Falla Agua Blanca (#42, Fig. 27), en el área de Pino Solo (#36, Fig. 27), en la Falla Sierra Juárez (#15, Fig. 27), en la Falla Laguna Salada (#45, Fig. 27) y entre las Fallas San Jacinto e Imperial.

Las soluciones de mecanismo focal de los sismos estudiados en el Valle Mexicali Imperial son de rumbo (37) y normales (2). Las soluciones normales se obtienen una, en

un sismo de la secuencia de Superstition Hills (#18, Fig. 35) y otra, en el extremo norte de la Falla Cerro Prieto (#51, Fig. 35). Se obtienen soluciones de rumbo en los eventos de $M > 4.8$ ocurridos en las fallas de Laguna Salada y Superstition Hills (M8, M13 y M16, Fig. 35). Las soluciones de los 10 eventos localizados a lo largo de la zona sísmica de Brawley son de rumbo. al igual que en esta Tesis, las soluciones de mecanismo focal de Frez y González (1987) presentan mayor cantidad de casos con mecanismo focal normal en las zonas sísmicas que fuera de ellas. Entre sus soluciones, solo se presentan cuatro de tipo inverso. Los dos pares de soluciones aportadas por Goff et al, (1988) para la parte norte del Golfo de California son un par de rumbo en la Falla Cerro Prieto y otro par, normales en la Cuenca de Wagner.

En la región de estudio, las soluciones de tipo inverso aparecen con mayor frecuencia en el Borde Continental Interno y las de tipo normal, en la Cuenca del Salton. Según los resultados ilustrados en la Figura 40, para el Borde Continental, el patrón de esfuerzos que reflejan los mecanismos focales, corresponde a la ocurrencia de desplazamientos de rumbo a lo largo de fallas orientadas hacia el NWN e inversos a lo largo de fallas orientadas hacia el WNW. Esta característica se puede apreciar, tanto en la secuencia de Oceanside, como en otros eventos que

ocurren en la Falla Coronado (#2,3,5,6, Fig. 18). Este tipo de fallamiento, está en concordancia con la presencia de estructuras causadas por movimientos de rumbo y de echado a la vez mencionadas por Legg et al, (1987). Una posible causa de este tipo de deformaciones, característica de zonas sometidas a esfuerzos compresivos, es la presencia de las Cordilleras Transversas, las cuales dificultan el movimiento de rumbo de los bloques de falla en dicha región (Fig. 4).

En cuanto a la definición del plano de falla en la solución de los mecanismos focales de rumbo, lo más congruente es elegir el plano que mejor coincide con la orientación del trazo de la falla a la que se puede asociar el sismo (Fig. 39). De acuerdo a esta suposición, la mayoría de los eventos de rumbo encontrados en la Tesis, serían lateral-derechos, considerando que las evidencias geológicas y geodésicas que indican que la región es una frontera entre las placas de Norteamérica y Pacífico, con un movimiento relativo entre ellas de tipo lateral-derecho. Sin embargo, esto es una suposición muy general. La realidad es que pueden ocurrir sismos en fallas conjugadas a los sistemas conocidos y éstas pueden ser de rumbo lateral-izquierdo. Un ejemplo de esto es el evento de Superstition Hills del 24 de noviembre de 1987, 01:54 Hrs (#M13, Fig. 34) el cual, al parecer, ocurre en una falla orientada hacia el NE descrita por Magistrale et al, (1988)

y por Fuis (1984). Las soluciones con mecanismo focal puramente de echado no presentan esta ambigüedad en la definición del rumbo de la falla. En estos casos queda como única incógnita, la determinación del echado.

En cuanto a las soluciones de mecanismo focal aportadas por otros autores, son los trabajos de Hauksson y Jones (1988) y de Frez y González (1987) los que aportan mayor cantidad de soluciones. Estas soluciones y las de otros autores que aparecen en la Tabla IV suman un total de 85 con lo que se completan 202 soluciones de mecanismos focales de sismos para la región de estudio de la Tesis.

RECOMENDACIONES:

Es importante seguir acumulando información acerca de la sismicidad en esta región con el fin de alcanzar una mejor comprensión de los procesos tectónicos que en ella ocurren. Para cumplir este objetivo, se deben continuar los estudios de los mecanismos focales, actualizándose el catálogo año tras año. A través de los mecanismos focales, obtenemos información acerca de fallas que no se observan claramente en la superficie o de las cuales no se tiene conocimiento del tipo de movimiento que presentan. Un ejemplo de ello es la sismicidad ocurrida en Pino Solo.

Según las experiencias acumuladas en esta Tesis, para continuar actualizando esta información se debe contar con la mayor cantidad posible de datos de tiempo de arribo y de polaridad para los sismos ocurridos tanto en el sur de California como en el norte de Baja California. Es necesario contar con una mayor cantidad de estaciones sísmicas en el lado mexicano. Se sugiere que para mejorar la cobertura sísmica de la Baja California y del Golfo de California, se coloquen cuatro estaciones más, repartidas en ambos lados de la Cuenca del Golfo y por debajo del paralelo 31° N.

En cuanto a la parte del trabajo que se realiza "en

escritorio", la clave de obtener buenos resultados en las soluciones se halla en el cuidado de los detalles. Entre lo más importante que se debe de tener en cuenta está el control en la convención de polaridad en todas las estaciones, la utilización de modelos de estructuras locales adecuadas y la selección de los criterios en la localización tales como la distancia máxima de corte y la profundidad (en caso que sea necesario fijarla).

Las principales limitaciones que se tuvieron en la obtención de las soluciones fueron la pérdida de información, el control de la convención de la polaridad de las estaciones y, la falta de una cobertura azimutal completa en algunos epicentros.

Los resultados alcanzados en este trabajo han sido satisfactorios en el sentido de que se puede contar con un catálogo de mecanismos focales para una región en donde el conocimiento continuo de la sismicidad es importante, tanto por su peligrosidad como por su interés tectónico.

La experiencia adquirida durante todo el periodo de desarrollo de la Tesis, ha sido bastante completa en diversos aspectos del estudio de los temblores. Comenzando por el manejo de la información hasta la revisión y corrección de algunos de los programas utilizados, los

cuales en principio, ya estaban implementados.

Finalmente, recomiendo que se continúe con la investigación de los mecanismos focales de sismos en esta región, mediante estudios más particulares en áreas como la cabeza del Golfo de California, el área de Pino Solo y la Falla de San Miguel, en donde se tiene frecuente sismicidad y se cuenta con buena información. Estas investigaciones deben orientarse al establecimiento de modelos tectónicos, que se apoyen en la distribución de las fuerzas tectónicas que dan origen a los sismos.

LITERATURA CITADA:

- ALLEN, C.R., P. St. Amand, C.F. Richter, y J.M. Nordquist, (1965) "Relationship between seismicity and geologic structure in the southern California region, Bull. Seism. Soc. Am., v. 55, 753-797.
- ANDERSON, J.G. y B. Bodin, (1987) "Earthquake occurrence models and historical seismicity in the Mexicali-Imperial Valley". Bull. Seism. Soc. Am., v. 77, 562-579.
- ATWATER, T., (1970) "Implications of plate tectonics for the Cenozoic evolution of western North America." Geol. Soc. Am. Bull., v. 81:3, 513-536.
- BIEHLER, S., Kovach, R.L. & Allen, C.R., (1964) "Geophysical framework of northern end of Gulf of California structural province", Mem. Am. Ass. Petrol. Geol., v. 3, 126-143.
- BOORE, D.M. y J.B. Fletcher, (1982) "Preliminary study of selected aftershocks from digital accelerations

and velocity recordings." en "The Imperial Valley, California, Earthquake of October 15, 1979"., U.S. Geol. Surv., Prof. Pap., v. 1254, 109-118.

BRUNE , J.N., C. Lomnitz, C.R. Allen, F. Lehner y A. Reyes, (1976) "A permanent seismograph array around the Gulf of California", Bull. Seism. Soc. Am., v. 66, 969-978.

CORBETT, E.J., (1984), " Seismicity and crustal structure studies of southern California: Tectonic implications from improved earthquake locations". Tesis Doctoral, Calif. Inst. Tech., Pasadena, 231 p.

DARBY, D., J. González y P. Lesage, (1984) "Geodetic studies in Baja California, México, and the evaluation of short-range data from 1974 to 1982". Journal of Geophys. Res. v. 89:B4, 2478-2490.

DOSER, D.I. y H. Kanamori, (1986) "Depth of seismicity in the Imperial Valley region (1977-1983) and its relationship to heat flow, crustal structure, and the October 15, 1979, earthquake", Journal of

Geophys. Res., v. 91, 675-688.

DRAPER, N.R., H. Smith, (1967) "Applied Regression Analysis", capítulo 6, John Wiley & Sons, Inc., 1966, 178 p.

ELDERS, W.A., Mediav, R.W., Rex y P.T. Robinson, (1970) "The Imperial Valley of California: The product of oceanic spreading centers acting on a continent" (abstract): Geol. Soc. Am. Abstracts with programs v. 2, 545 p.

FREZ, J. y J. González, (1986) "Seismicity and tectonics of Northern Baja California", Por publicarse en Memorias de la Am. Ass. Petrol. Geol.

FUIS, G.S., W.D. Mooney, J.H. Healey, G.A. McMechan and W.J. Lutter, (1982) "Crustal structure of the Imperial Valley region, en "The Imperial Valley, California, earthquake of October 15, 1979", U.S. Geol. Surv., Profess. Pap. v. 1254, 25-49.

GASTIL, G., R.P. Phillips y E.C. Allison, (1975) "Reconnaissance geology for the State of Baja California, México". Geol. Soc. Am. Bull., Memoir 140, 170 p.

- GASTIL, G. , G. Morgan y D. Krummenacher, (1979) "The tectonic history of Peninsular California and adjacent México", Geol. Soc. Am. Bull. v. 90:9: 839-857.
- GOFF, J.A., E.A. Bergman y S.C. Solomon (1987) "Earthquake source mechanisms and transform fault tectonics in the Gulf of California", J. Geophys. Res., v. 92, 10485-10511.
- GONZALEZ, J, (1986) "Sismotectónica del Valle de Mexicali", Tesis Maestría, CICESE, Ensenada, México, 107 p.
- GONZALEZ, M. (1985) " Estudio detallado de los sismos de Pino Solo Baja California, México, del 8 de mayo de 1985". Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada, México, 98 p.
- GONZALEZ, J. y F. Suárez (1984) "Geological and seismic evidence of a new branch of the Agua Blanca fault", Geophys. Res. Lett., v. 11, 42-45.
- GONZALEZ, M. y L. Munguía, (1985) "Determinación epicentral y mecanismos de falla del sismo de Pino Solo, Baja California, México del 8 de mayo de 1985", Resumen, Reunión Anual Unión Geofísica

Mexicana.

HAUKSSON, E., L. M. Jones, (1988) "The July 1986 Oceanside (M = 5.3) earthquake secuencia in the Continental Borderland, Southern California", Bull. Seism. Soc. Am., (en prensa).

HILEMAN, J.A., C.R. Allen y J.M. Nordquist, (1973) "Seismicity of the Southern California region. 1 January 1932 to 31 December 1972", Seis. Lab., CalTech, Pasadena, Ca., 490 p.

HILL, D.P., P. Mowinckel y L.G. Peake, (1975) "Earthquakes, active faults, and geothermal areas in the Imperial Valley, California", Science, v.88, 1306-1308.

ISACKS, B.L., Oliver, J. y L.R. Sykes (1968). "Seismiology and the New Global Tectonics", J. Geophys. Res. v.73, 5855-5900.

JOHNSON, C. E., (1979) "CEDAR -an approach to the computer automation of short - period local seismic networks seismotectonics of the Imperial Valley of Southern California", Tesis Doctoral, California Institute of Technology, Tesis

doctoral, 343 p.

JOHNSON, C.E. and D.P. Hill, (1982) "Seismicity of the Imperial Valley", en "The Imperial Valley, California, Earthquake of October 15, 1979", U.S. Geol. Surv. Prof. Pap., v. 1254, 15-24.

JOHNSON, C.E. y D.M. Hadley, (1976) "Tectonic implications of the Brawley earthquake swarm, Imperial Valley, California, January 1975", Bull. Seism. Soc. Am., v. 66, 1133-1144.

KENETT, V.P., (1982). "Marine Geology", Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 813 p.

LEE, W.H. y J.C. Lahr (1975) HYPO71 (revisado): "A computer program for determining hypocenter, magnitude, and first motion pattern of local earthquakes", U. S. Geol. Surv. Open-file Rept. 75-311.

LEE, W.H. y S.W. Stewart, (1981) "Principles and applications of microearthquake networks", Adv. Geophys., Suppl.v. 2, 293 p.

LEGG, M.R., (1980), "Seismicity and tectonics of the Inner

Continental Borderland of southern California and northern Baja California, México", Tesis de Maestría, University of Calif., San Diego, 60 p.

LEGG, M.R., (1985) "Geologic structure and tectonics of Inner Continental Borderland offshore northern Baja California, México", Tesis Doctoral, University of California, Santa Barbara, 409 p.

LEGG, M.R., V. Wong y F. Suárez, (1986) "Geologic Structure and tectonics of the inner continental borderland of northern Baja California". Preimpreso.

LEEDS, A.L. (1979) "Relocation of $M > 5.0$ northern Baja California earthquakes using S - P times", Tesis de Maestría, University of California, San Diego, La Jolla California, 130 p.

LOMNITZ, C., (1974) "Global tectonics and earthquake risk". Developments in Geotectonics 5, Elsevier, Amsterdam. 320 p.

LOMNITZ, C., C. Mooser, R. Allen, J.N. Brune y W. Thatcher, (1970) "Sismicidad y tectónica de la región norte del Golfo de California, México".

Resultados preliminares. Geofísica
Internacional. v. 10:2, 37-46.

- MAGISTRALE, H., L. Jones y H. Kanamori (1988) "The Superstition Hills, California, Earthquake of 24 November, 1987", Preimpreso.
- MCKENZIE, D.P. y W.J. Morgan (1969) "Evolution for a triple junction". Nature v. 224, 125-133.
- MCKENZIE, D.P. y Parker, R. (1967) "The North Pacific, an example of tectonics on a sphere". Nature, v. 216, 1276-1280.
- MEDINA, M. y C. Duarte (1979) "Red sísmológica de telemedición digital del Campo Geotérmico de Cerro Prieto", Proceedings Second Symposium of the Cerro Prieto Geothermal Field, Mexicali, B.C. México, IIE report @@@, 355-368.
- NAVA, A.F. y J.N. Brune, (1982) "An earthquake-explosion reversed refraction line in the Peninsular Ranges of Southern California and Baja California Norte", Bull. Seism. Soc. Am. v. 72, 119-120.
- NORDQUIST, J.M., (1964) "A catalogue of Southern California

earthquakes and associated electronic data processing programs", Bull. Seism. Soc. Am., v. 54, 1003-1011.

NORRIS, R., C. Johnson, L. Jones y K. Hutton, (1986) "The Southern California Network Bulletin", U. S. Geol. Surv., Open File Report 86-96, 32 p.

REBOLLAR, C., A. Reyes y M. Reichle, (1983) "Estudio del enjambre de San Quintín, Baja California, México, ocurrido durante 1975", Geofísica Internacinal, v. 21, 331-358.

REBOLLAR, C.J., (1985) "Source parameters of the Ensenada Bay earthquake swarm, Baja California, México", Can. J. Earth Sci. v. 22, 126-132.

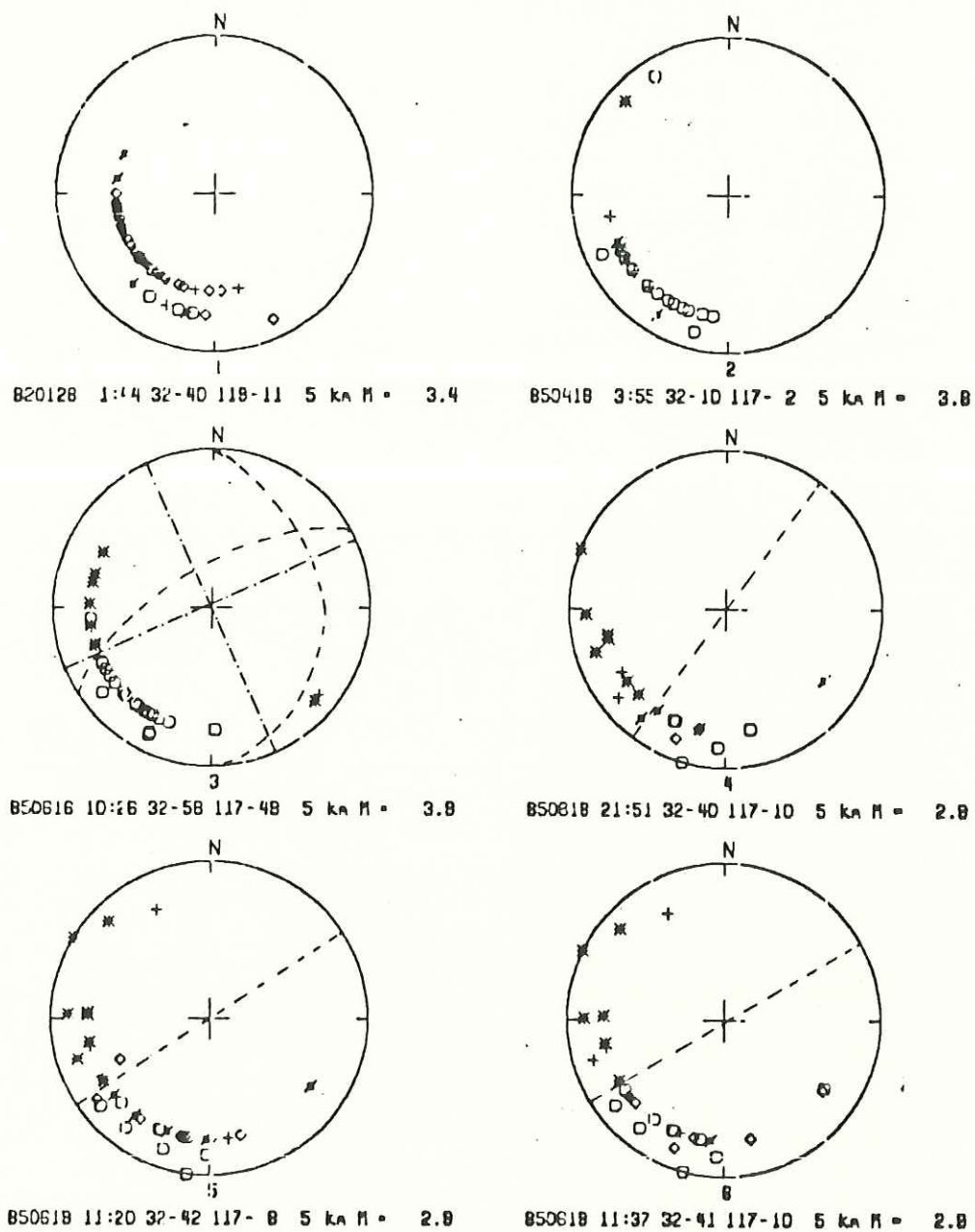
REBOLLAR, C.J., M.S. Reichle, (1987) "Analysis of the seismicity detected in 1982-1984 in the northern Peninsular Ranges of Baja California". Bull. Seism. Soc. Am., v. 77:1, 173-183.

REID, H.F., (1910) "The Mechanism of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906". Informe de la Comisión Senatorial de Investigación, v. 2, Carnegie institution,

Washington, D.C., 16-28.

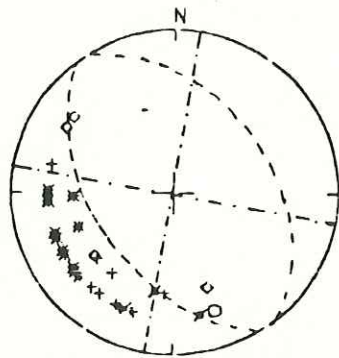
REYES, A., J. Brune, T. Baker, L. Canales, J. Madrid, J. Rebollar y L. Munguía, (1975) "A microearthquake survey of the San Miguel Fault zone, Baja California, México", *Geophys. Res. Lett.*, v. 2, 56 -59.

SOARES López, J., (1981) "Estudio de microsismicidad a lo largo de la falla de San Miguel". Tesis de licenciatura Escuela Superior de Ciencias Marinas, 85 p.

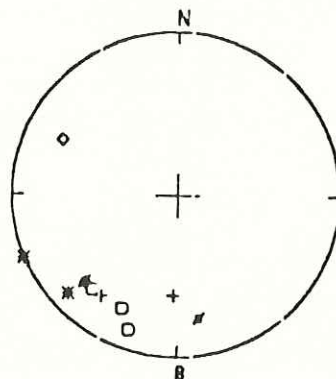


Apéndice de Figuras

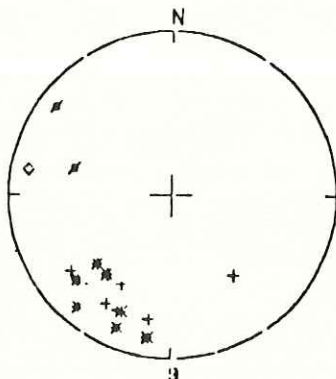
Soluciones de mala calidad para la provincia del Borde Continental.



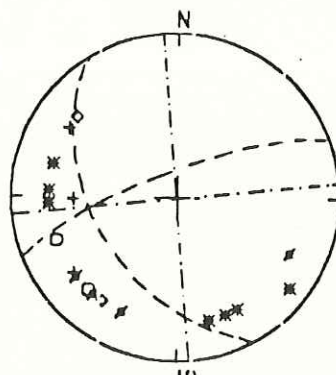
851104 15:0 32-36 118-3 5 km M = 3.4



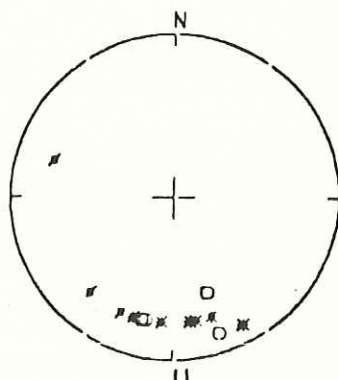
860506 3:40 31-40 116-56 5 km M = 3.8



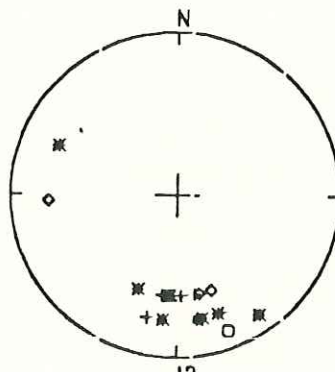
870227 22:5 31-56 117-2 5 km M = 3.1



870315 17:44 32-37 118-0 5 km M = 3.3

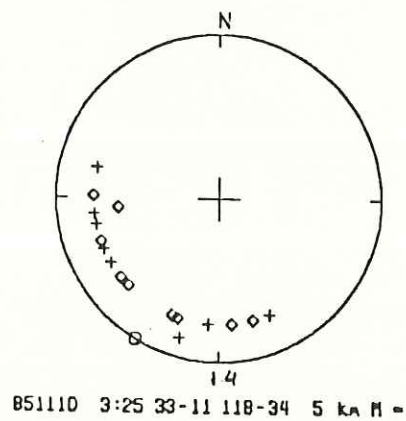
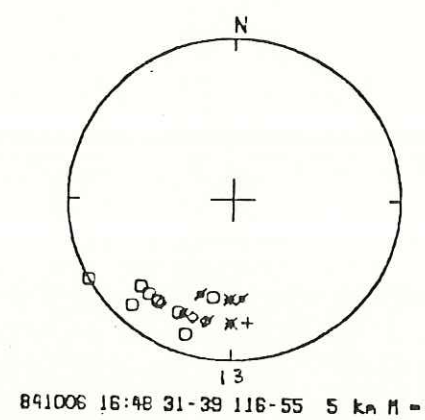


870513 21:0 31-18 116-26 5 km M = 3.8

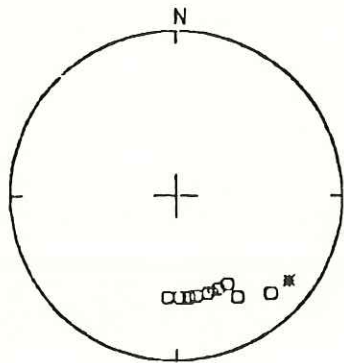


871027 0:55 31-24 116-27 5 km M = 3.7

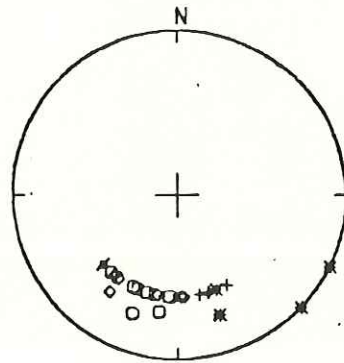
Apéndice (continuación)



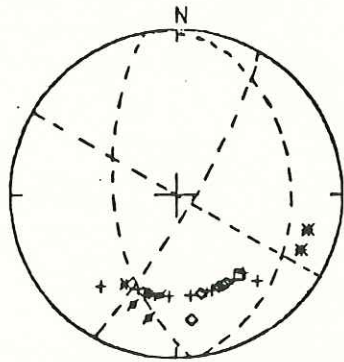
Apéndice (continuación)



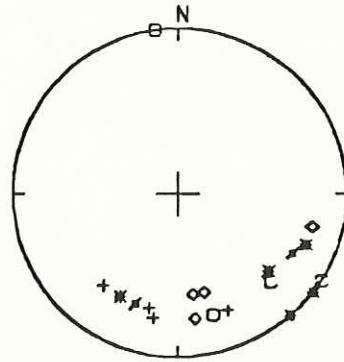
1
820528 13: 3 31-12 115-53 9 km H = 4.1



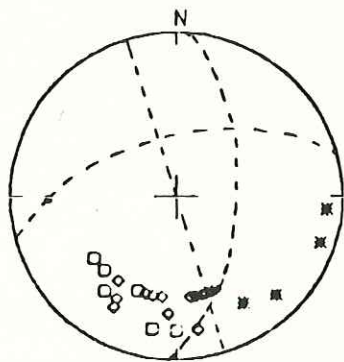
2
821210 0:37 31-32 116-13 8 km H = 3.8



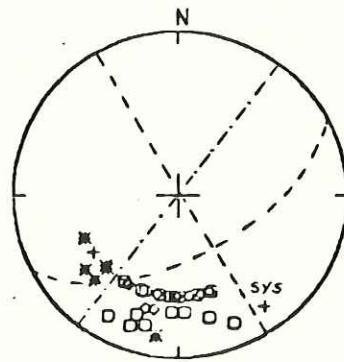
3
82.215 5:53 31-28 115-34 9 km H = 3.6



4
830117 5: 0 31-30 115-32 8 km H = 3.5



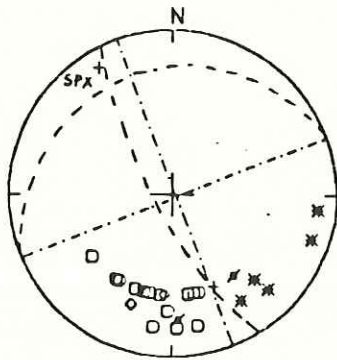
5
830818 21:17 31-41 115-56 8 km H = 3.8



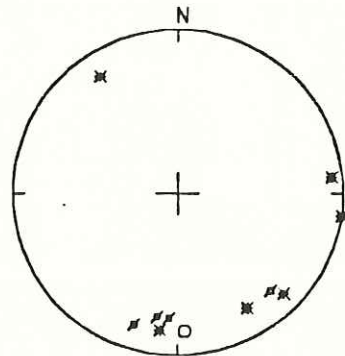
6
831118 8:54 31-52 116-16 8 km H = 3.8

Apéndice

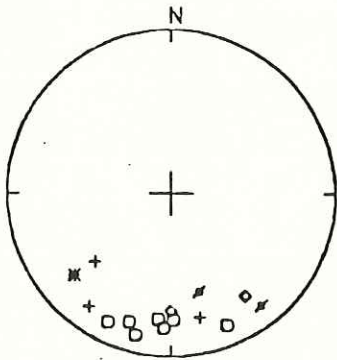
Soluciones de mala calidad obtenidas para la provincia de las Cordilleras Peninsulares.



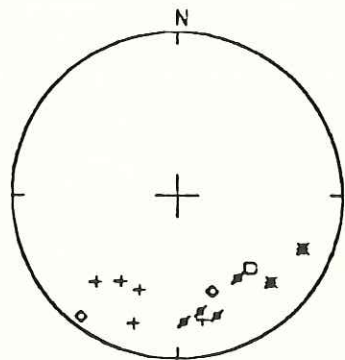
7
831129 11: 2 31-40 115-53 8 kA H = 3.8



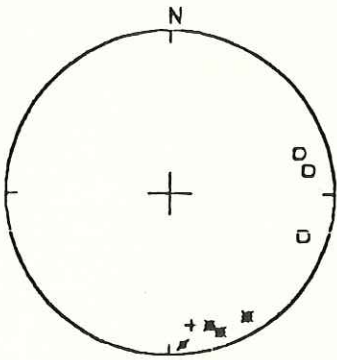
8
831202 19: 8 31-48 116- 3 8 kA H = 3.2



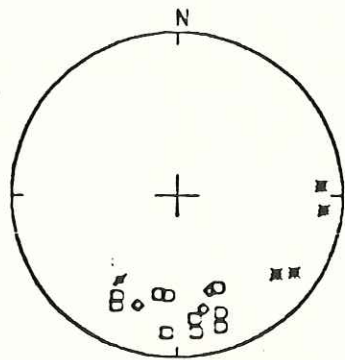
9
840424 15:47 31-57 116-18 8 kA H = 3.4



10
840425 18:18 31-31 115-40 8 kA H = 3.4

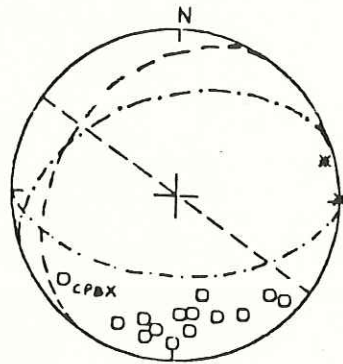


11
840814 15:29 32- 2 115-39 8 kA H = 3.2

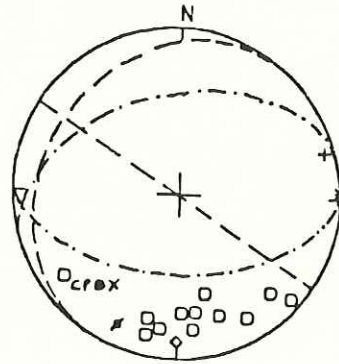


12
840904 10:35 31-48 115-47 8 kA H = 3.7

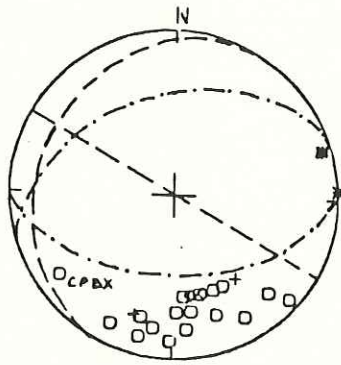
Apéndice (continuación)



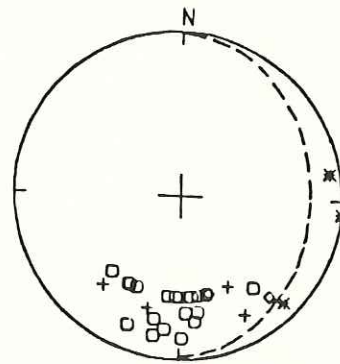
13
841107 13: 2 31-53 116- 6 9 km M = 3.7



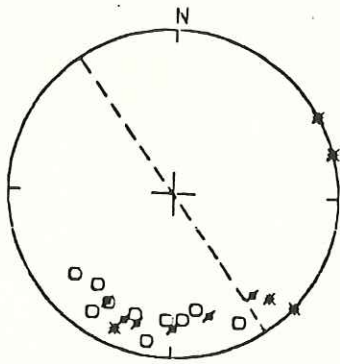
14
841107 14:22 31-54 116- 7 8 km M = 3.6



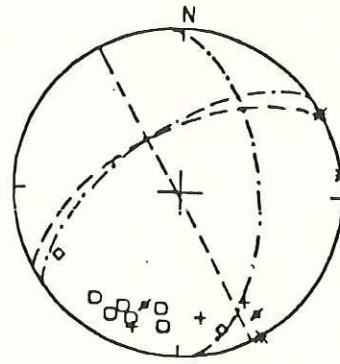
15
841107 14:27 31-55 116- 7 9 km M = 3.7



16
841129 15:55 31-50 116- 5 8 km M = 3.6

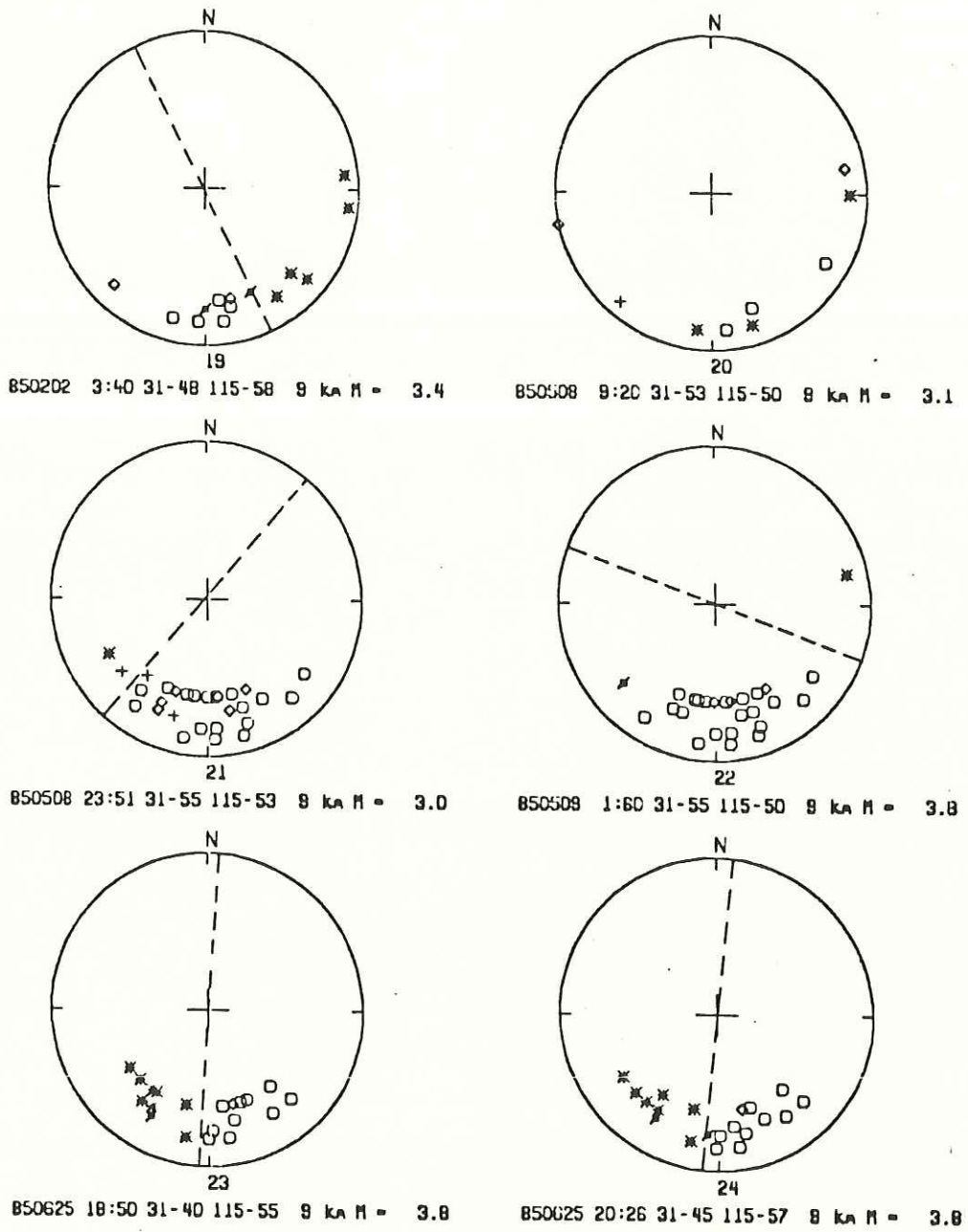


17
841209 18:56 31-59 116-14 9 km M = 3.3

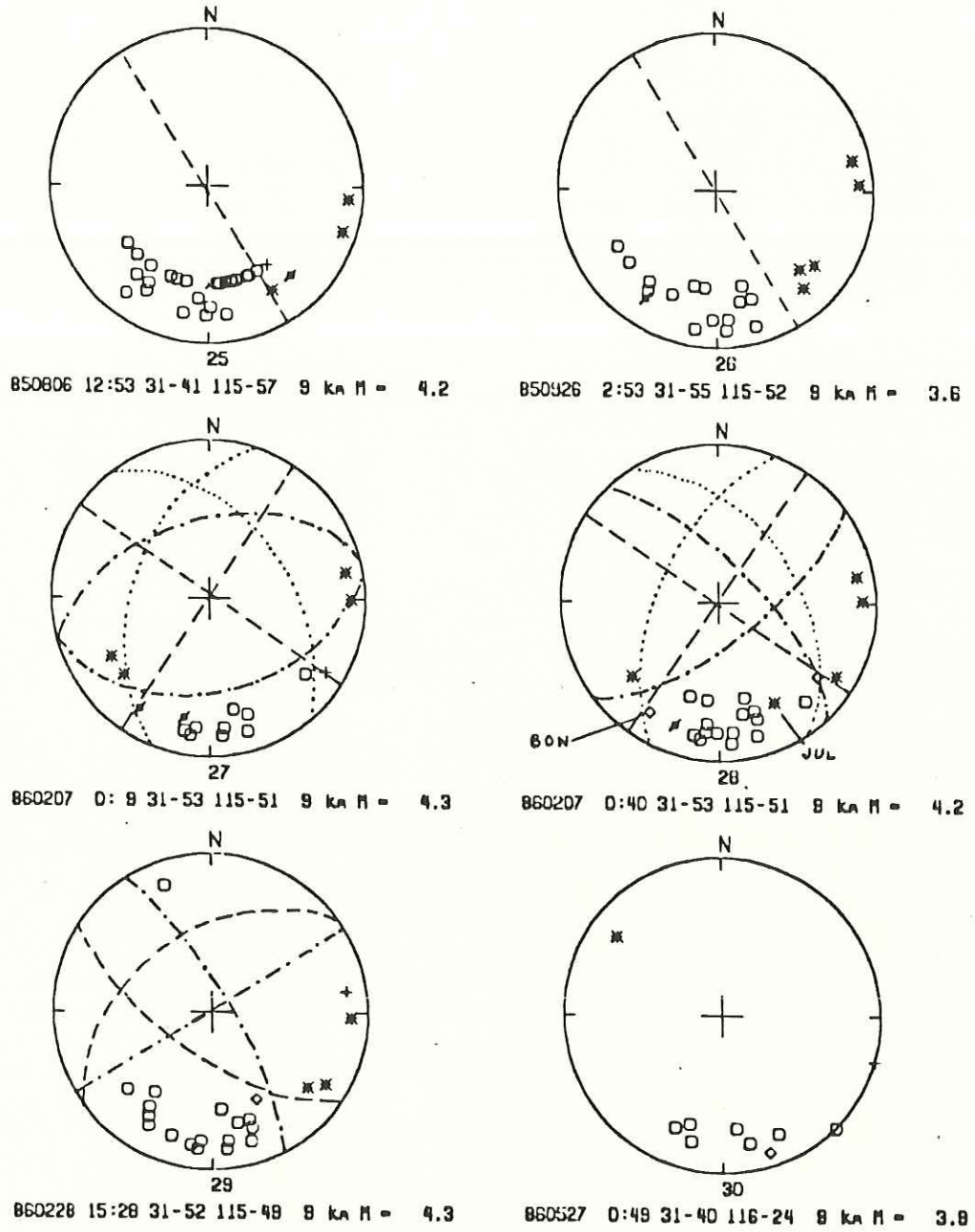


18
850127 15: 6 31-55 116-23 8 km M = 3.4

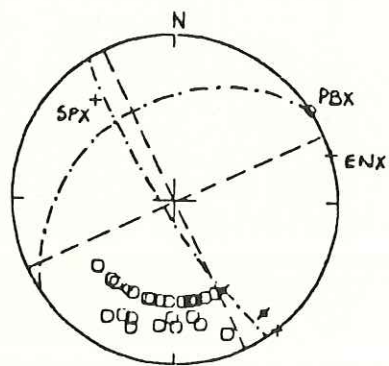
Apéndice (continuación)



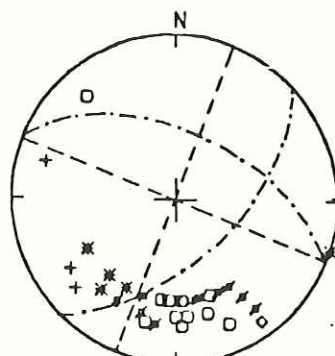
Apéndice (continuación)



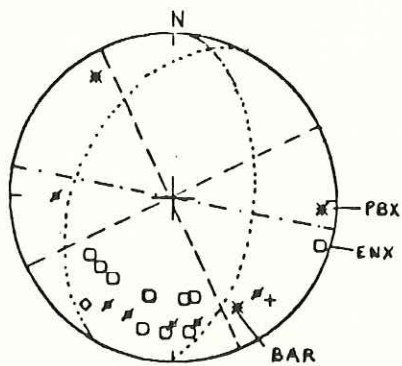
Apéndice (continuación)



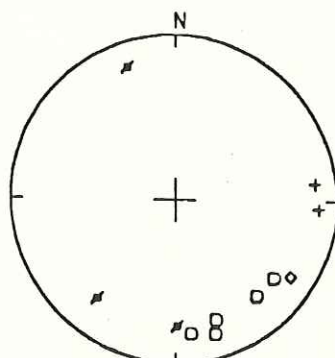
31
860629 15: 0 31-58 116-20 9 km M = 3.6



32
861017 0:28 31-45 116-11 9 km M = 3.4

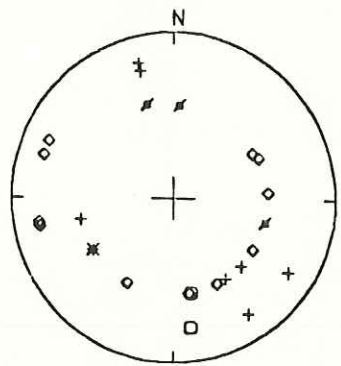


33
870513 0:45 31-42 115-58 9 km M = 3.3

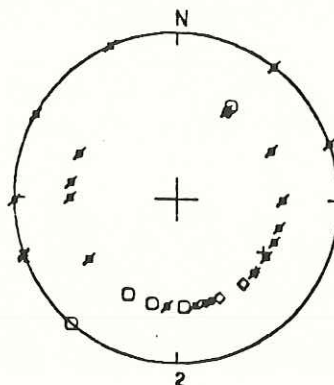


34
871128 13: 0 31-51 115-49 8 km M = 4.1

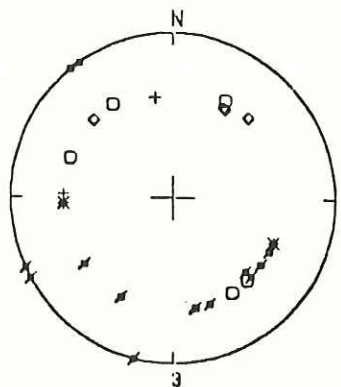
Apéndice (continuación)



870209 3:38 32-24 115-22 3 K_A M = 3.7



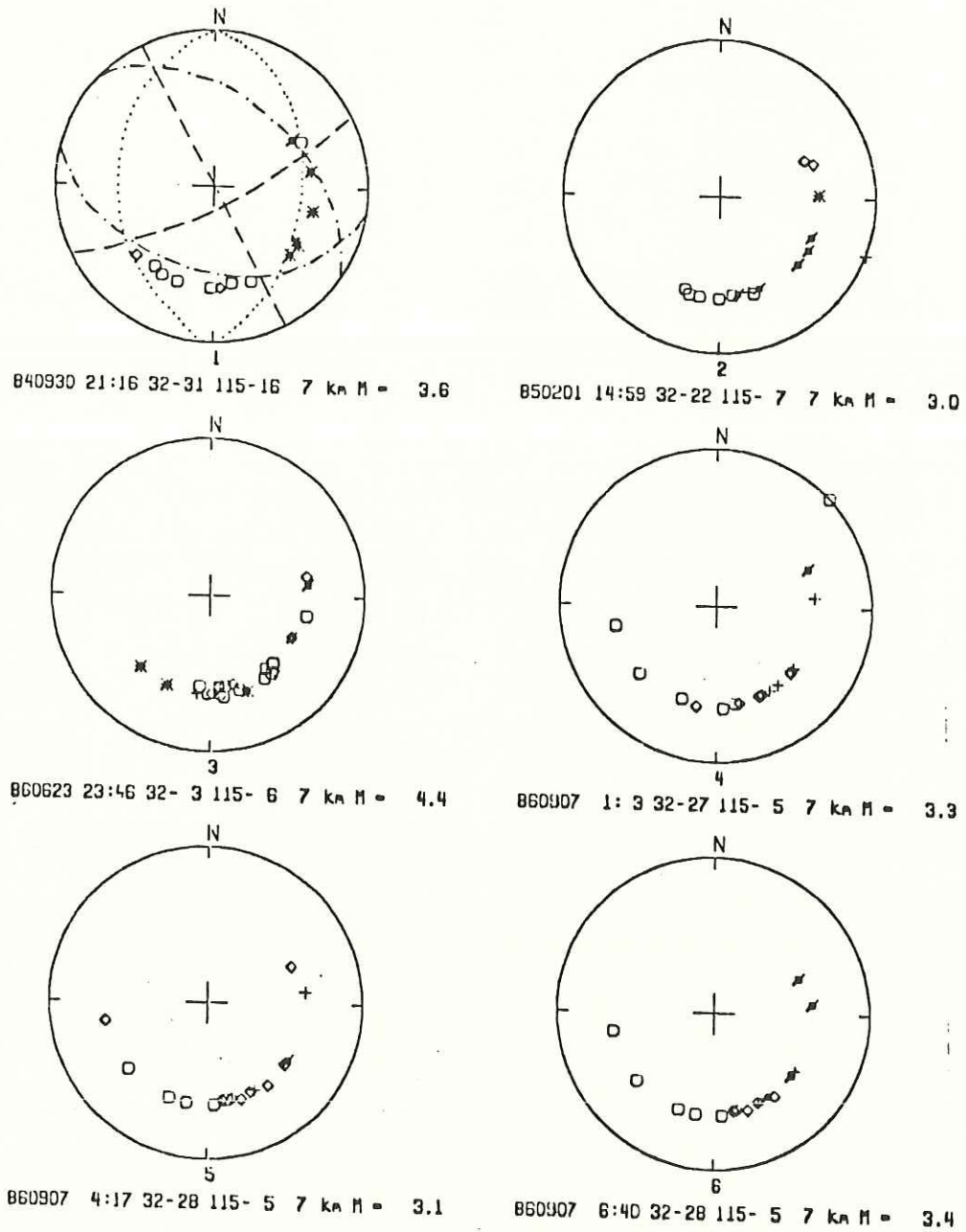
871124 14:36 33- 3 115-49 5 K_A M =



871124 18:50 33- 0 115-53 7 K_A M =

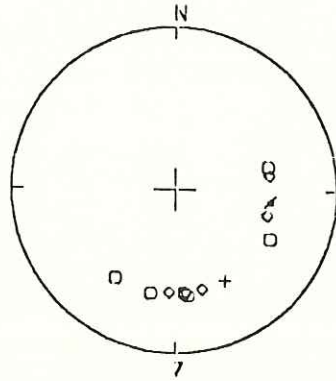
Apéndice

Soluciones de mala calidad obtenidas para la región del valle (parte norte).

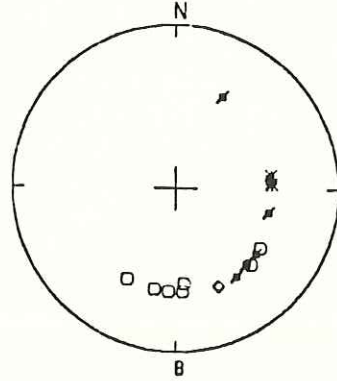


Apéndice

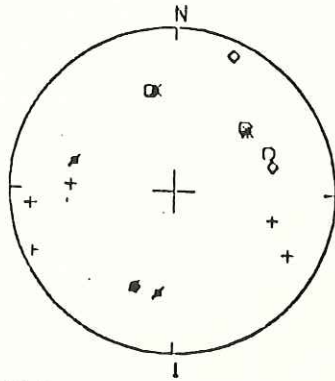
Soluciones de mala calidad obtenidas para la región del valle (parte Sierras del Oeste).



870420 18:59 32- 7 114-54 7 km M = 3.0



870615 5: 8 31-57 114-56 7 km M = 3.3



840426 22:44 32-46 115-25 10 km M =

Apéndice

Soluciones de mala calidad obtenidas para la región del valle (parte sur).