

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta un análisis de los resultados obtenidos a lo largo de este trabajo. Dicho análisis se divide en dos partes: La primera se enfoca en la sismicidad de la zona y la segunda, en los polos de rotación.

5.1. Análisis de la Sismicidad

5.1.1 Mecanismo focal del sismo de 4 de diciembre de 1948.

A partir de las tablas 4.3 y 4.4 se generaron dos opciones de mecanismos focales, los cuales se muestran en la figura 5.1 y 5.2, respectivamente. En la tabla 5.1 se proporciona la solución de dichos mecanismos. Ambas soluciones conservan la misma solución general: un mecanismo de falla inversa de alto ángulo con los ejes de compresión (eje P) orientados NE-SW. También se observa que dicho mecanismo no está bien restringido debido a las siguientes razones: Baja cantidad de información obtenida y nula cobertura en el rango de azimut de 180° a 270°.

En esta solución se considera como plano de falla, el plano nodal que buza al noreste. Esta consideración se realizó con base en las características geológicas del Escarpe de las Tres Marías y el trabajo de Brown et al. (artículo no publicado).

Un modelo de capas más detallado definiría un valor menor de inclinación en el plano de falla. Sin embargo, la estación Mérida limita el valor en dicha inclinación. Por esta razón se considera que el modelo de capas utilizado es aceptable.

Tabla 5.1 Soluciones al mecanismo focal

Valor de velocidad en la fuente	Plano 1			Plano 2		
	Rumbo	Echado	Deslizamiento	Rumbo	Echado	Deslizamiento
6.0 km/s	322°	56°	132°	108°	40°	50°
6.6 km/s	316°	54°	126°	108°	40°	46°

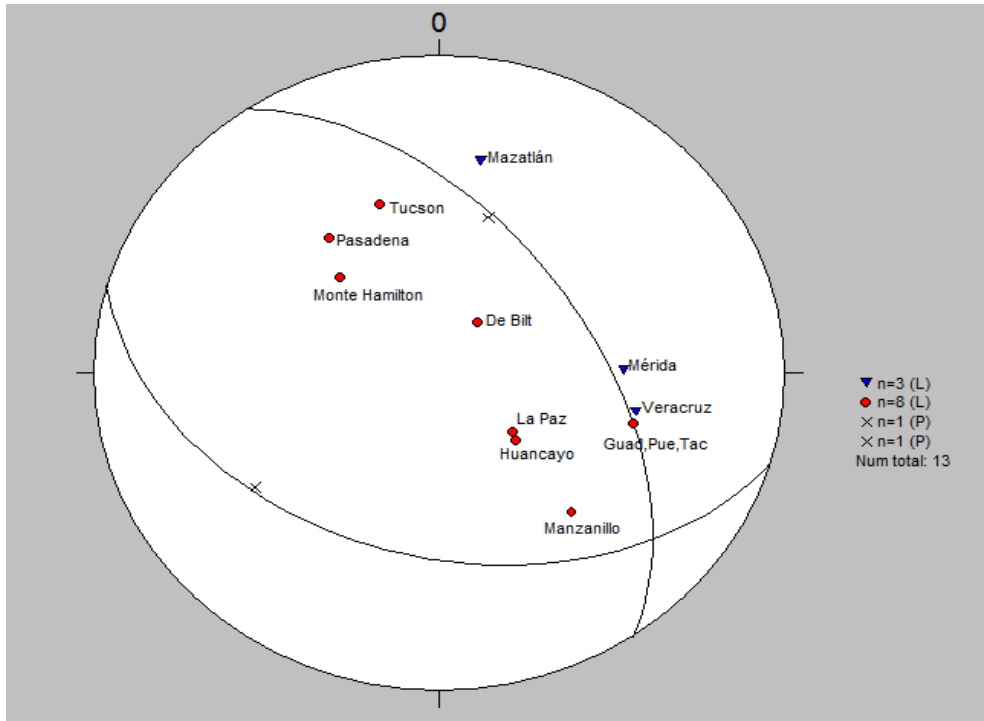


Figura 5.1 Mecanismo focal con velocidad en la fuente de 6 km/s (granito). Los triángulos azules representan dilataciones. Los puntos rojos indican compresiones y las cruces, los polos de los planos nodales.

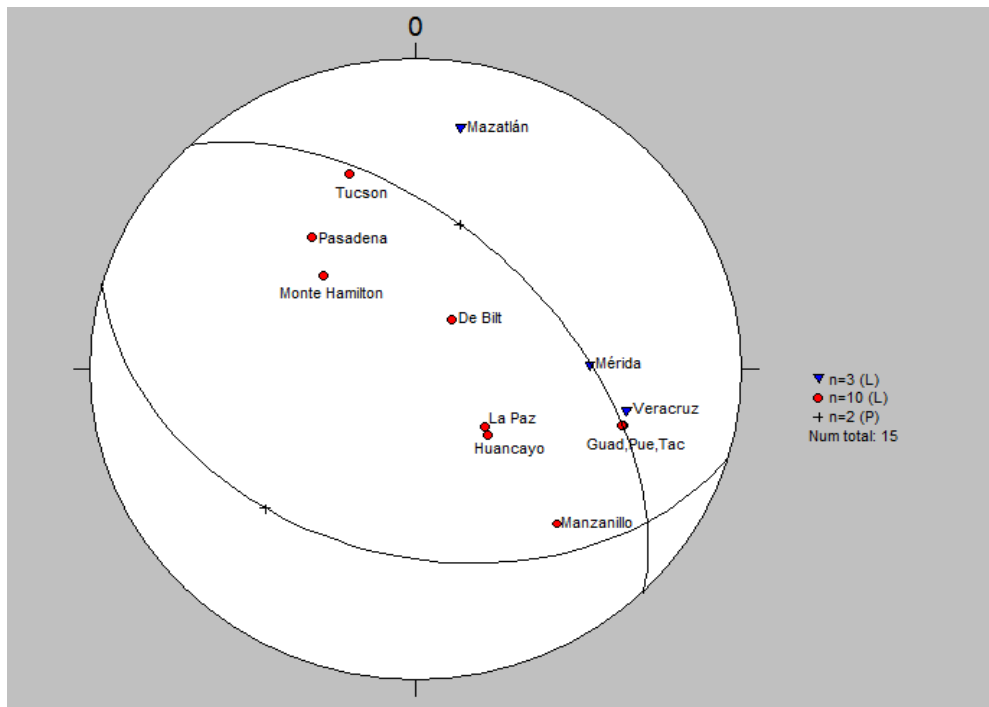


Figura 5.2 Mecanismo focal con velocidad en la fuente de 6.6 km/s (dioritas). Los triángulos azules representan dilataciones. Los puntos rojos indican compresiones y las cruces los polos de los planos nodales.

5.1.2 Análisis de los Mecanismos Focales entre la placa de Rivera y la placa de Norteamérica

Una vez establecida la solución de mecanismo focal del sismo del 4 de diciembre de 1948, el sismo más grande registrado en la región (Ms 6.9), se incluyeron los mecanismos proporcionados por GCMT y el propuesto por Goff et al. (1987). Estos se pueden observar en el mapa C-1 del anexo C.

DeMets y Stein (1990) proponen que la sismicidad presente a lo largo del Escarpe de las Tres Marías y en la Zona de Fractura de Tamayo, son zonas con características que se pueden asociar con el movimiento entre las placas de Rivera y Norteamérica. Con esta propuesta se analizaron los sismos con mecanismo focal que han ocurrido en la zona (mapa C-1, anexo C).

La figura 5.3 representa una vista tridimensional de los rasgos batimétricos. Esta figura tiene los siguientes propósitos:

- Facilitar la visualización de los datos batimétricos y los datos sísmicos.
- Asociar rasgos batimétricos a posibles estructuras geológicas.
- Asociar mecanismos focales a rasgos batimétricos.
- Descartar sismos que no estén relacionados con el movimiento entre las placas de Rivera y Norteamérica.

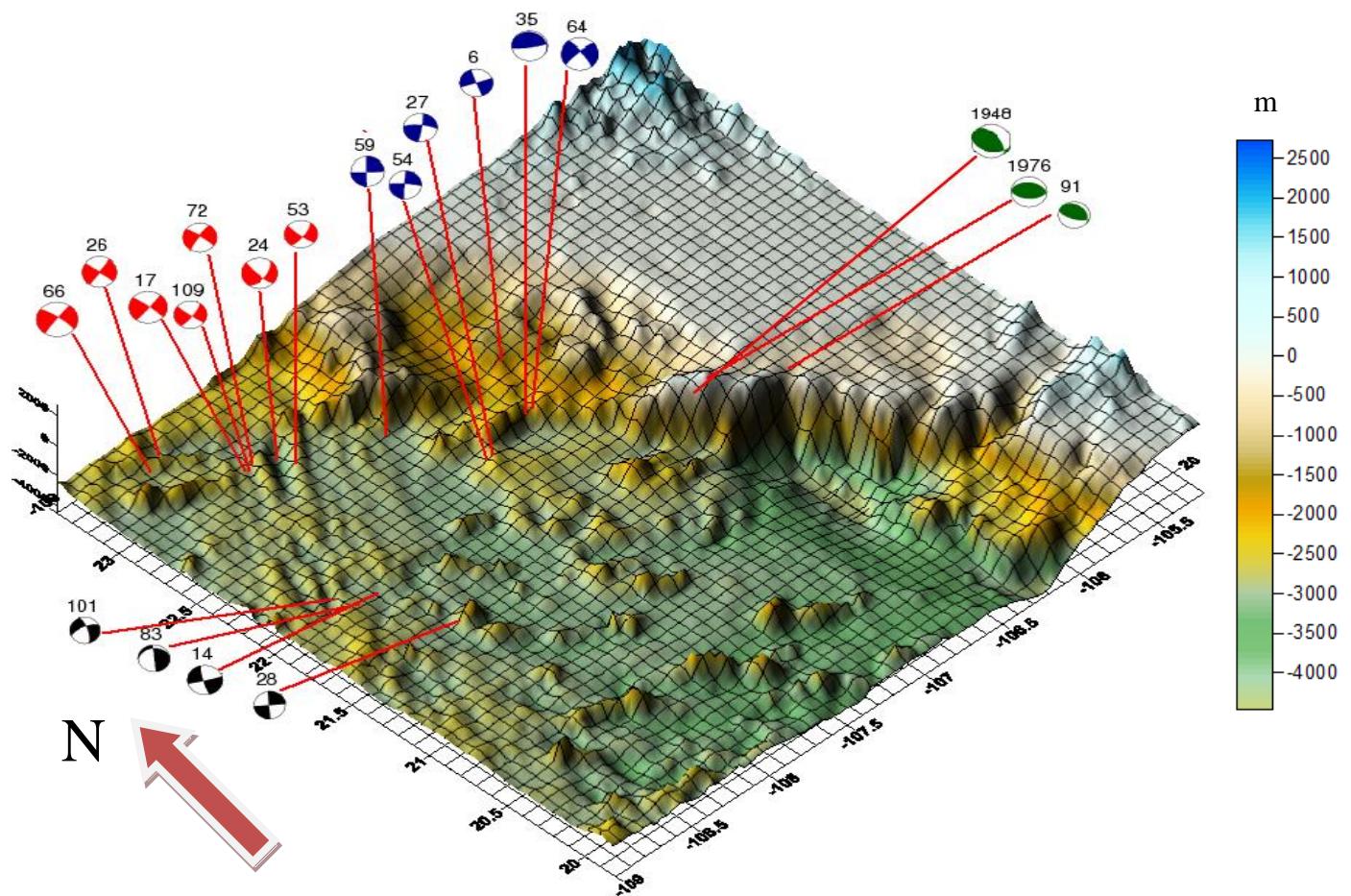


Figura 5.3. Mapa batimétrico 3D con mecanismos focales sectorizados. Sismos localizados a lo largo de la Dorsal Pacifico Rivera denominado grupo 1 (negro); sismos localizados a lo largo de la Falla Transformada de Tamayo y a la Dorsal de Alarcón denominado grupo 2 (rojo); sismos localizados a lo largo de la Zona de Fractura de Tamayo denominado grupo 3 (azul); Sismos localizados a lo largo del Escarpe de las Tres Marías grupo 4 (verde).

Independientemente de la incertidumbre en la localización de los sismos, estos se integraron en cuatro grupos principales que se pueden asociar a estructuras geológicas diferentes:

- a) El primer grupo mostrado, color negro, asociados a la Dorsal Pacifico-Rivera, se observa en una serie de altos batimétricos casi paralelos orientados NE-SW. Los mecanismos presentes consisten de mecanismo de falla normal (esperados en dorsales). Hay, además, dos sismos con fallamiento lateral.

El primero de ellos, es el mecanismo número 14, la orientación de los ejes de tensión coincide con la dirección de expansión del fondo oceánico. Por tal motivo, probablemente está asociado también con la actividad de la Dorsal Pacifico-Rivera.

El segundo, el mecanismo número 28, es denominado anómalo debido a que la orientación de sus ejes de tensión difiere de la de los demás mecanismos asociados a la dorsal. La localización de este mecanismo es crucial para su correcta interpretación. Si suponemos el mismo criterio de los ejes de tensión, puede interpretarse como una pequeña dorsal perpendicular a la Dorsal Pacífico-Rivera, apoyando la hipótesis de una zona de extensión propuesta por Lonsdale (1995). Sin embargo, con este nivel de batimetría, no se observa un rasgo batimétrico claro que apoye esta hipótesis. Otra posibilidad es que el sismo refleja la deformación interna de la placa. Debido a la incertidumbre en la localización y a que no contamos con la suficiente información, no es posible dar una interpretación fidedigna del origen de este sismo.

- b) El segundo grupo, mostrado en color rojo, asociado a tres características geológicas relacionadas principalmente con el movimiento entre las placas de Norteamérica y Pacífico. Los mecanismos 26 y 66 están asociados a la Falla Transformada de Tamayo y a la Dorsal de Alarcón, se observan como dos altos batimétricos. Por su parte, los mecanismos 17, 24, 53, 72 y 109 están relacionados con la Falla Transformada de Tamayo y la Dorsal Pacífico-Rivera; en especial los sismos 24, 53 y 72 son los sismos que están asociados a ambas estructuras.
- c) El tercer grupo, mostrado en color azul rey, se localiza en la Zona de Fractura de Tamayo. La batimetría muestra que ésta es una región compleja desde el punto de vista morfológico. Sin embargo, podemos observar dos estructuras o altos batimétricos muy marcados en forma de crestas con orientación aproximada E-W.

La estructura norte (aproximadamente 23° N de latitud) marca el término de la Dorsal Pacífico Rivera. Cerca de esta estructura se localiza el sismo 59 que consiste de un sismo de falla lateral. Un segundo alto batimétrico ubicado al sur que parece ser la continuación del Escarpe de las Tres Marías. Entre ambos rasgos morfológicos se forma una depresión o valle. En estas dos últimas estructuras, se encuentran distribuidos 5 de los 6 sismos pertenecientes a este grupo, lo cual hace suponer que estos rasgos morfológicos están asociados directamente al movimiento relativo entre las placas de Rivera y Norteamérica.

- d) El cuarto grupo mostrado en color verde, representan fallas inversas y definen una zona de compresión localizada en un contraste muy marcado de un alto batimétrico que representa el Escarpe de las Tres Marías y un nivel muy bajo de batimetría al sur sur-este de las Islas Marías, donde termina la Trinchera Mesoamericana (zona de subducción). Dichos mecanismos presentan una orientación N NE-SW en sus ejes de compresión

Debido a lo anterior, se seleccionaron los sismos del grupo 3 (azul) y grupo 4 (verde) para comparar con los vectores de velocidad predichas por los diferentes polos de rotación entre las placas de Rivera y Norteamérica. Esto se describe con mayor detalle en la siguiente sección.

Los sismos ubicados al sur de los 20° de latitud, no se consideraron en esta figura pues claramente están asociados a la subducción de la placa de Rivera por debajo del bloque de Jalisco (Pardo y Suárez, 1993; 1995; Bandy et al., 1997; DeMets y Wilson, 1997; Pacheco et al., 1997; Hurtado Díaz, 2005). Sin embargo, estos sismos sí serán utilizados en el análisis de los polos de rotación en la siguiente sección.

5.2 Análisis de los polos de rotación

5.2.1. Análisis de los polos de rotación publicados

La primera etapa del análisis de esta sección consistió en el análisis de polos de rotación publicados por diversos autores y dos polos de rotación calculados en este trabajo; los pasos seguidos se describen con detalle en la metodología, en la Sección 4.2.

Los resultados del análisis de los polos de rotación en esta primera etapa se muestran en la tabla 5.2, donde se lista el autor del polo de rotación, la ubicación, velocidad angular propuesta, los errores cuadráticos medios y la diferencia o ancho del intervalo de confianza para la media y la varianza. Es claro que mientras el valor sea más pequeño, indica que el intervalo de confianza es más reducido y por consiguiente la desviación respecto a la media es menor.

Tabla 5.2. Resultados del análisis de los polos de rotación

Autor	Latitud	Longitud	Omega	ECM todos	ECM sub	ECM islas	ECM norte	Prom. Δ	dif varianza
DeMets94	22.8	-109.4	1.8	46.180	6.9659	14.0650	74.372	29.854	2449.108
Lonsdale95	21.8	-107.8	4	17.858	9.1507	5.66595	27.142	14.17	233.084
Bandy97	21.87	-109.58	4.34	32.766	6.5572	9.41156	52.616	19.609	1359.616
Tesis1	20.5	-107.7	5.73	33.071	11.335	57.5891	33.291	24.044	1017.21
Tesis2	19.8	-107.5	7.69	43.312	22.605	76.0383	38.926	34.241	1387.873

DeMets94 corresponde al polo propuesto por DeMets et al. (1994)

Lonsdale95 corresponde al polo propuesto por Lonsdale (1995)

Bandy97 corresponde al polo propuesto por Bandy et al. (1997)

Analizando por partes encontramos lo siguiente:

En el caso de los sismos relacionados con el proceso de subducción por debajo del Bloque de Jalisco, el polo que proporciona el mejor ajuste es el publicado por Bandy et al. (1997), sin embargo, la diferencia entre los publicados por DeMets et al. (1994), Lonsdale (1995) y el calculado en este trabajo, es muy pequeña.

Bajo la suposición de los planos de falla previamente explicada en la sección 4.2.3, el polo de rotación publicado por Lonsdale (1995) proporciona el mejor ajuste a los sismos asociados a la zona de las Islas Marías y los ubicados al norte de ellas (distribuidos a lo largo de la Zona de Fractura de Tamayo). A su vez es el polo de rotación que presenta el mejor

ajuste para todos los sismos considerados en este trabajo relacionados con el movimiento entre las placas de Rivera y Norteamérica.

Además, realizando un análisis estadístico se observa que el polo publicado por Lonsdale (1995) proporciona el valor más pequeño de intervalo de confianza (diferencia entre el límite superior e inferior) y por consiguiente, este polo es el más confiable estadísticamente.

La columna número 9 (Prom Δ) está calculada como el promedio del valor absoluto de la diferencia entre el valor predicho por el polo y la dirección de deslizamiento del sismo. En ella se observa que la ubicación del polo de Lonsdale (1995) es el que proporciona el mínimo valor de dicho grupo de polos para los 16 eventos analizados.

En los mapas C-3 al C-7 del anexo C se muestra la comparación entre los distintos polos de rotación con sus respectivas líneas de flujo que indican el movimiento relativo de la placa de Rivera (móvil) con respecto a la placa de Norteamérica (fija) y los vectores de deslizamiento de los sismos considerados en este análisis.

Una conclusión previa de este análisis es que ninguno de los polos de rotación se ajusta a todos los vectores de deslizamiento de los sismos con mecanismos focales presentados. Por lo cual, en la siguiente etapa se analiza una malla generada para proponer una zona donde se ubique el polo de rotación que ajuste a la muestra de sismos.

5.2.2 Análisis de la malla de polos de rotación generada

Como se mencionó en la sección anterior, este subcapítulo está dedicado al análisis de la malla propuesta para encontrar una región donde se acote la ubicación del polo de rotación que proporcione el mejor ajuste a la muestra de sismos. Este análisis se realiza tomando en cuenta dos criterios: error cuadrático medio y un análisis estadístico. Con la tabla 5.2 que presenta los ECM se restringió la distribución de la malla.

5.2.2.1 Análisis estadístico

Se realizó un análisis estadístico para determinar el mejor polo, estadísticamente significativo. Un criterio para escoger un determinado estimador de un parámetro θ es tomar aquel que muestre, en promedio (media), el menor error en la estimación. Pues el objetivo es penalizar igualmente los errores, que podríamos establecer como cantidad a minimizar la esperanza de la diferencia entre el estadístico T y el parámetro θ (en valor absoluto para impedir que los errores por defecto y por exceso se anulen mutuamente); es decir, $E = [|T - \theta|]$.

Este efecto de anulación se observa claramente en la figura 5.4a, y en la figura 5.4b se observa la media muestral obtenida con el valor absoluto de la diferencia entre la dirección del vector deslizamiento y la dirección de la velocidad predicha por cada polo de la malla.

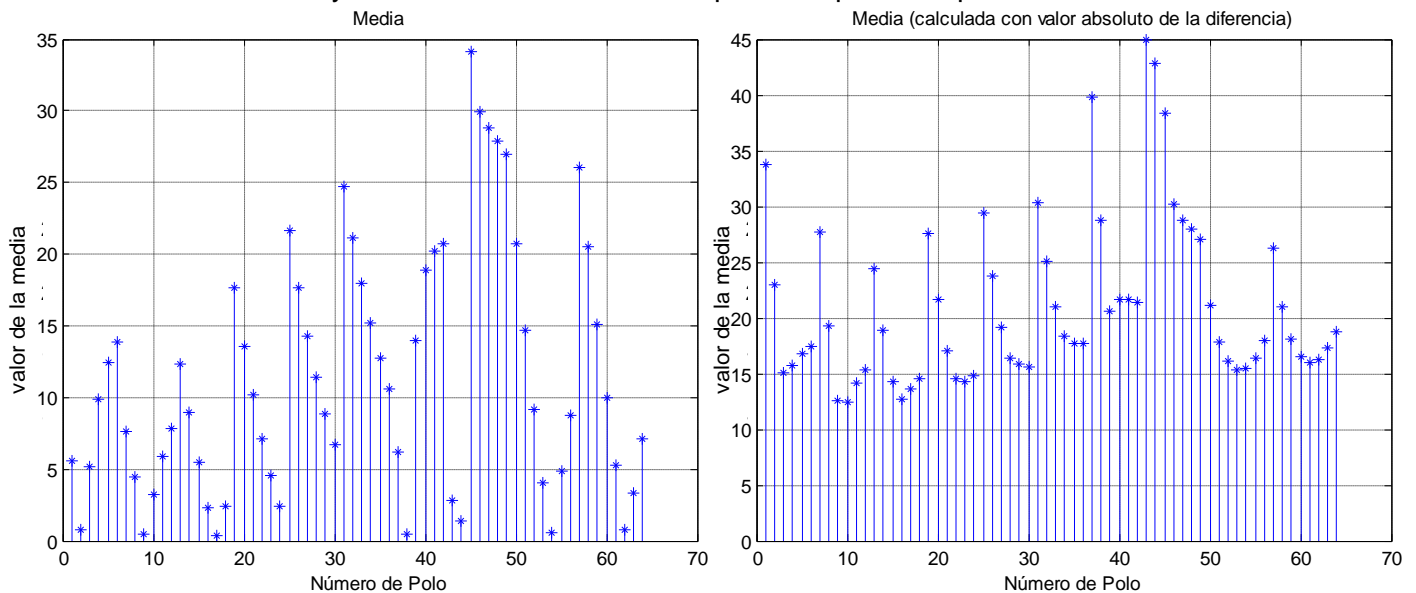


Figura 5.4. Izquierda (a) Valor de la media muestral en grados para la diferencia entre los vectores deslizamiento y velocidad para los 64 polos de rotación que conforman la malla. Derecha (b) Valor de la media muestral obtenida considerando el valor absoluto de las diferencias.

De la gráfica 5.4b se observan varios mínimos locales, por lo cual, se cálculo la varianza muestral de cada polo para eliminar opciones de polos de rotación. Con esto, se realizó una elección preliminar de polos que presentarán en promedio el menor valor de error y el menor valor de varianza muestral (figura 5.5b) calculada con el valor absoluto de la diferencia.

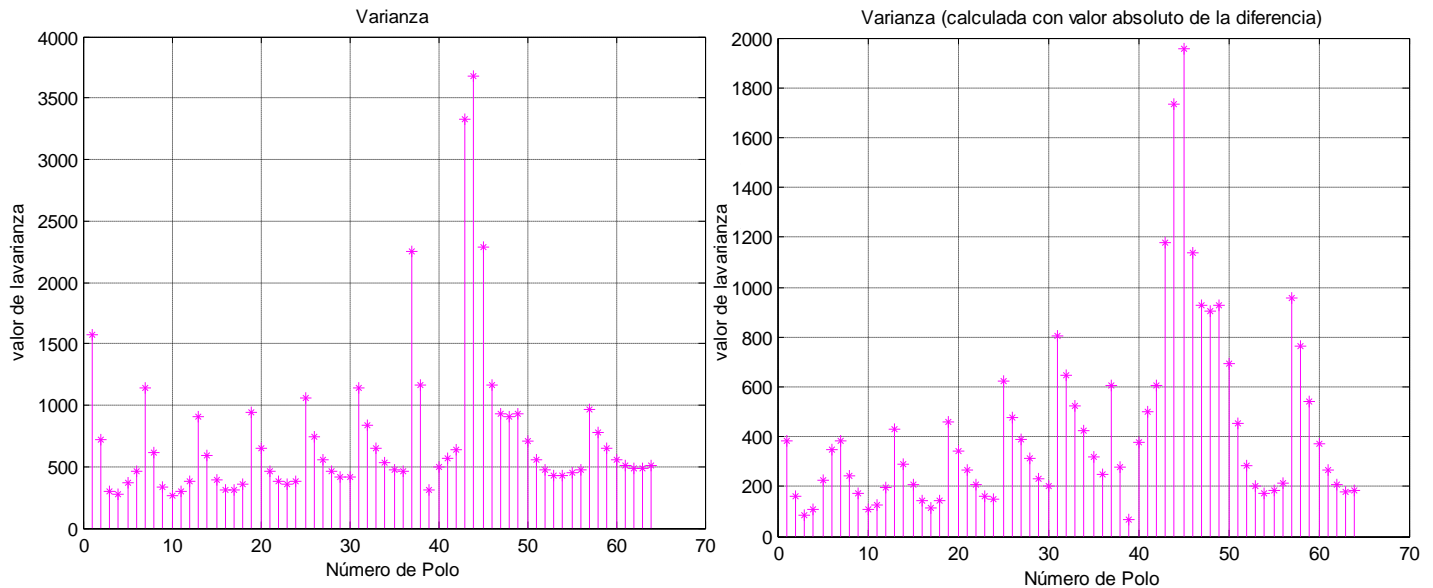


Figura 5.5. Izquierda (a) Valor de la varianza muestral para la diferencia entre los vectores deslizamiento y velocidad para los 64 polos de rotación que conforman la malla. Derecha (b) Valor de la varianza muestral obtenida considerando el valor absoluto de las diferencias.

Utilizando las gráficas 5.4b y 5.5b, el criterio fue una media muestral menor a 20° con varianza muestral menor a 200 Los polos preliminares son: 3, 4, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 22, 23, 24, 30, 53, 54, 55, 56, 62, 63 y 64.

Para complementar este análisis preliminar, se realizó un análisis utilizando intervalos de confianza. Se llama intervalo de confianza a un par de números entre los cuales se estima que estará cierto valor desconocido con una determinada probabilidad de acierto. Formalmente, estos números determinan un intervalo, que se calcula a partir de datos de una muestra, y el valor desconocido es un parámetro poblacional. La probabilidad de éxito en la estimación se representa por $1 - \alpha$ y se denomina nivel de confianza. En estas circunstancias, α es el llamado error aleatorio o nivel de significación; esto es, una medida de las posibilidades de fallar en la estimación mediante tal intervalo. A partir de esta definición se calcularon intervalos de confianza para el valor esperado (media poblacional) del error y su varianza poblacional. Los resultados se muestran en la figura 5.6.

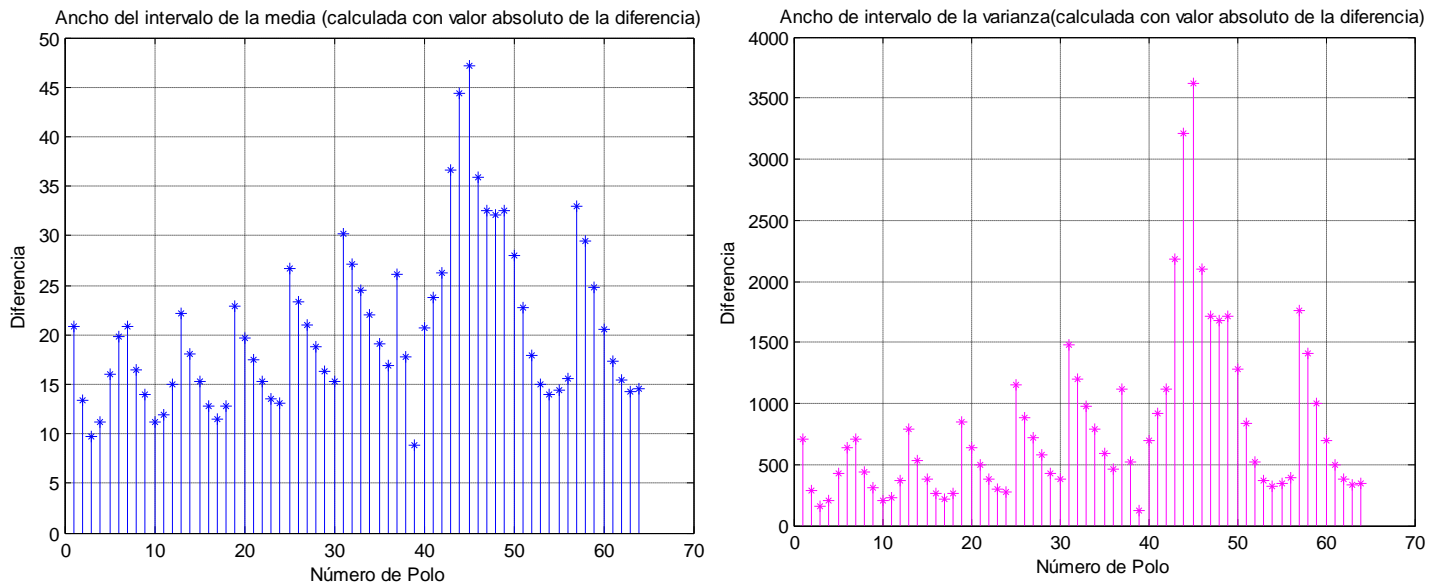


Figura 5.6. Intervalos de confianza para la media poblacional (izquierda) y para la varianza poblacional (derecha).

De los intervalos de confianza se seleccionaron los que presentaran intervalos de confianza más estrechos de manera conjunta con la media poblacional y la varianza poblacional. Los polos seleccionados son los número: 2, 3, 4, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 23, 24, 39 y 54.

La selección final de este análisis estadístico, combinando ambos métodos, da como resultado los polos número: 3, 4, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 23, 24 y 54.

Aunque este operador resulta razonable, presenta el inconveniente de que la función valor absoluto es complicada de manejar desde un punto de vista matemático. Por dicha razón suele utilizarse el error cuadrático medio (ECM) de un estimador. El cual se analiza en la siguiente sección.

5.2.2.2 Análisis del error cuadrático medio

La segunda etapa del análisis de los polos consiste en comparar el error cuadrático medio. Esto se debe a que una propiedad del ECM es que puede descomponerse como la suma de dos componentes: la varianza del estimador más su sesgo al cuadrado: Por tanto, en el caso de comparar diversos estimadores centrados de un parámetro θ , el ECM coincidirá con sus varianzas. Con lo que el estimador con menor ECM coincidirá con el de menor varianza.

La gráfica de la figura 5.7 muestra la comparación entre los ECM para las tres zonas en las cuales se dividió el área de estudio para los 64 polos propuestos en la malla: La zona de subducción por debajo del bloque de Jalisco (color azul), el Escarpe de las Tres Marías (color rojo) y la zona de Fractura de Tamayo (denominada norte de las Islas Marías en color magenta).

El primer paso de esta sección, consiste en analizar de manera independiente el ajuste de cada punto (polo) de la malla. La primera zona de análisis es la zona de subducción, donde se observa en términos generales que la dirección (azimut) del vector velocidad de todos los polos propuesto presenta un ajuste aceptable con relación a la dirección el vector deslizamiento, por lo tanto, no se observan diferencias muy contrastantes en esta región, salvo en los polos que van del número 37 al polo 47.

En contraste, en la región de las Islas María y la Zona de Fractura de Tamayo se observan mayores diferencias entre las direcciones de ambos vectores. La primera zona en cuestión es la de las Islas Marías (color rojo), en ella se observa que los valores más altos se obtienen en el rango del polo 19 al polo 48, después disminuyen, para incrementarse nuevamente en el rango del polo 54 al polo 57.

En la zona de Fractura de Tamayo se observa una mayor variabilidad en el ajuste entre ambos vectores. Los valores de ECM son mayores en comparación con los observados en la zona de las Islas Marías y en la zona de subducción. Esta variabilidad complica el análisis, a pesar de esto, los polos ubicados en el rango del polo 40 al polo 50 y del polo 58 al polo 60 son descartados.

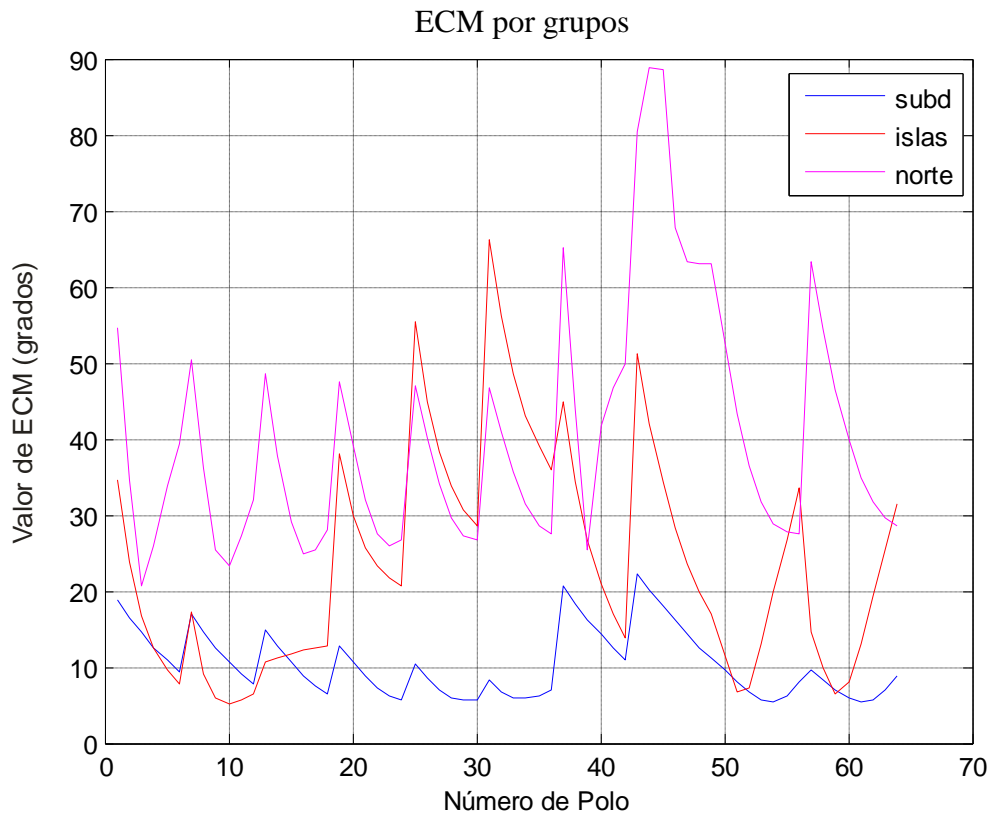


Figura 5.7 Comparación del error cuadrático medio (ECM) para los 64 polos propuestos en la zona de subducción (subd), Islas Marías (islas) y Zona de Fractura de Tamayo (norte).

De lo anterior se confirma que no existe un polo que ajuste a todos los vectores de deslizamiento de los sismos ocurridos para todas y cada una de las tres regiones. El mayor problema en el ajuste se presenta en la Zona de Fractura de Tamayo, de tal manera que la incertidumbre y los errores de localización de los sismos que se distribuyen en esta zona afectan notablemente el valor del ECM. Es claro que una buena localización de los epicentros es crucial para determinar el polo de rotación.

Debido a que el objetivo del trabajo es tener una visión regional del movimiento de la placa de Rivera respecto a Norteamérica, el siguiente paso consiste en analizar en conjunto las tres regiones y no únicamente de manera individual. Recurriendo nuevamente a la figura 5.7, observamos que el menor error se obtiene en el rango del polo 3 al polo 18.

En la figura 5.8 se muestra el valor del ECM calculado considerando todos los sismos y con ello se facilita la selección de los polos al eliminar la variabilidad observada en la gráfica 5.7.

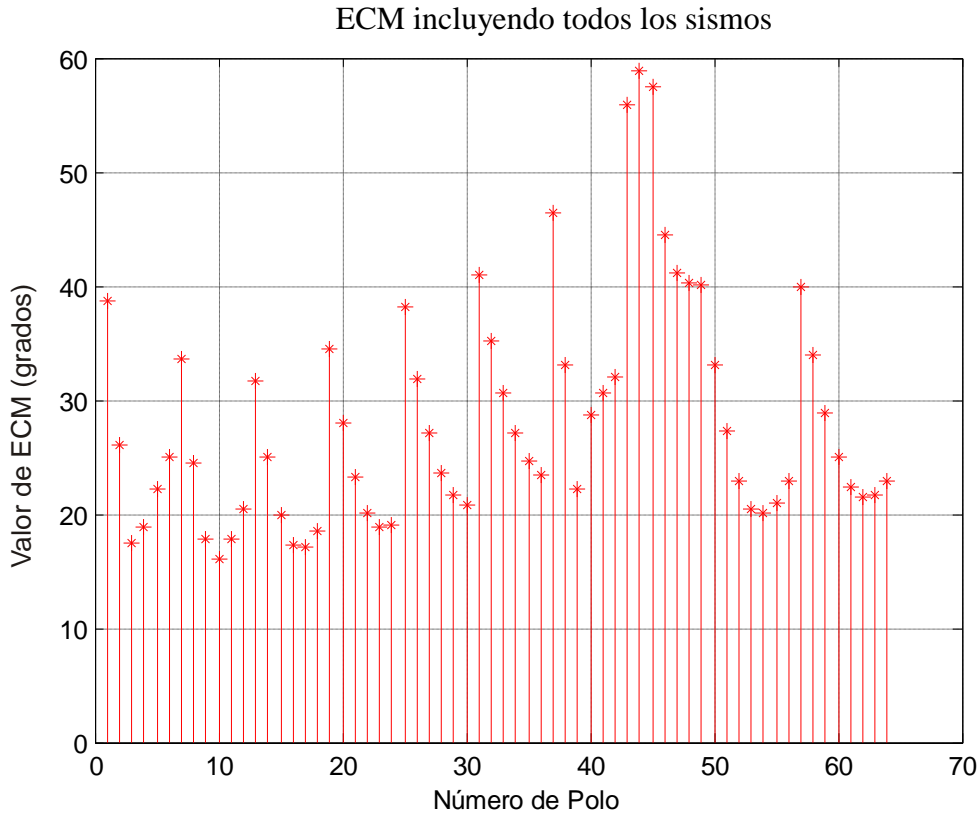


Figura 5.8. Comparación del error cuadrático medio considerando el conjunto de 16 sismos.

Considerando el valor de ECM presentado en la figura 5.8, se seleccionaron los polos de rotación con valor de ECM menor a 20 como los preferenciales y son los polos número: 3, 4, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 23 y 24. El rango de valores coincide con el intervalo propuesto utilizando la figura 5.7, considerando las tres zonas en conjunto, a excepción del polo 23 y 24.

Finalmente, utilizando el análisis estadístico y el error cuadrático medio, el resultado final es que con excepción del polo 54 del análisis estadístico, el resto de los polos coinciden en ambos métodos. Por lo cual, los polos que mejor representan el movimiento relativo son: 3, 4, 9, 10, 11, 16, 17, 18, 23 y 24. Tomando como criterio final el ECM, el polo con el menor valor es el polo número 10. La ubicación de estos polos se muestra en la figura 5.9 en color verde, junto con la del polo de menor ECM mostrado en color azul oscuro.

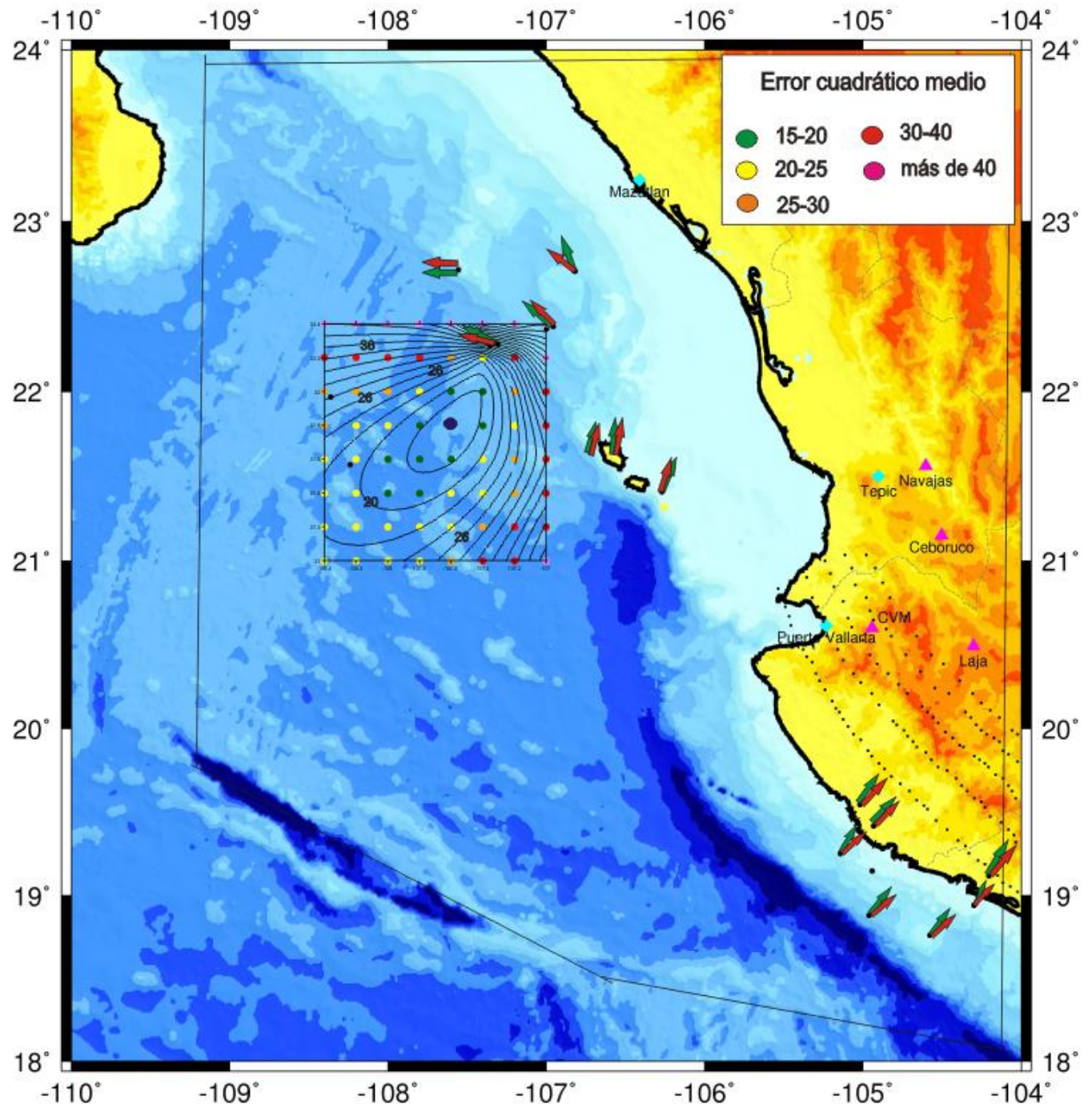


Figura 5.9. Localización de los polos de rotación de la malla generada. Las flechas rojas indican la dirección del vector de velocidad predicho por el polo de rotación con menor ECM (color azul oscuro), las flechas verdes señalan la dirección del vector deslizamiento de los sismos ocurridos en la región. Las líneas de contorno indican la manera en que se distribuye el error cuadrático medio, los polos contenidos dentro de la línea de contorno con el valor de 20 cumplen con el criterio propuesto de 95% de confianza.

5.2.3 Análisis del movimiento relativo placa de Rivera con respecto a la placa de Norteamérica

Se obtuvo una región donde el vector deslizamiento cumple con el 95 % de confianza (delimitada por la línea de contorno de valor 20, figuras 5.9 y 5.10). Dentro de esta zona el polo de rotación con menor valor de ECM se localiza en 21.8° N, 107.6° W. Pero cualquier otro polo comprendido dentro de la línea de contorno de valor 20 (figura 5.9) presenta un buen ajuste en relación a la dirección de deslizamiento de los sismos ocurridos en esta región. Con la velocidad de rotación calculada con el procedimiento descrito en la sección 4.2.3, se obtienen los siguientes resultados (figura 5.10):

- a) El movimiento de la placa de Rivera con respecto a la placa de Norteamérica tiene lugar en sentido antihorario y con velocidad angular de 5.34° /m.y.
- b) La placa de Rivera converge de manera prácticamente perpendicular a la trinchera Mesoamericana frente a las costas de los estados de Jalisco y Colima, con dirección aproximada $N40^{\circ}$ E a $N50^{\circ}$ E a razón de 4.31 cm/yr (Bandy et al., 1997). Siendo congruente con la subducción presente en dicha región y con presencia de grandes sismos en la zona.
- c) Frente a Bahía de Banderas el polo de rotación seleccionado predice una convergencia oblicua en dirección $N46^{\circ}$ E, con una disminución en la velocidad lineal, reduciéndose a 1.86 cm/yr. Este cambio en la dirección y la disminución en la tasa de convergencia podría explicar la baja actividad sísmica registrada en esta región o la posibilidad de que la magnitud de los sismos generados en esta zona sean de magnitud relativamente baja que no permitan ser registrados con claridad por las estaciones sismológicas, tal como lo proponen Rutz-López y Núñez-Cornú (2004). Estos autores plantean que en esta región existe un alto nivel de actividad sísmica, sin embargo, esta actividad está caracterizada por sismos de pequeña magnitud ($2.6 < M_L < 5.4$), además, con base en la distribución de los hipocentros analizados en dicho trabajo, sugieren la posibilidad de una subducción oblicua. Por lo tanto, el resultado de este trabajo coincide con lo planteado por estos autores.

- d) En la región de las Islas Marías el movimiento relativo entre la placa de Rivera y el Escarpe de las Tres Marías es en dirección N15°E-N20°E. La convergencia es altamente oblicua en relación con la parte que existe hacia el extremo norte de la Trinchera Mesoamericana. Esto parece definir una región de compresión, mas no de subducción. Este movimiento relativo resulta en una zona de deformación que se observa como un contraste batimétrico comprendido entre 21.5° a 22.5° N y 106.5° a 107.5°W (figura 5.3 y 5.10). Esto concuerda con el levantamiento propuesto por Lonsdale (1995), de la Cresta de María Magdalena. Este resultado es lógico ya que el polo publicado por dicho autor y el de este trabajo son muy cercanos.

La tasa de convergencia en esta zona es de 0.89 cm/yr. Este valor de velocidad corresponde con lo que Kostoglodov y Bandy (1995) definen como el modelo de baja velocidad (0.6-1.7 cm/yr para el Escarpe de las Tres Marías) y no es consistente con lo propuesto por dichos autores, que con base en relaciones sismotectónicas apoyan el modelo denominado de “alta velocidad” (2.5-3.0 cm/yr para el Escarpe de las Tres Marías). Hay que hacer hincapié en este punto, el cálculo de la velocidad angular para el polo ubicado en 21.8° N, 107.6°W se realizó a partir de la velocidad lineal (tasa de convergencia) descrito en el artículo de Bandy et al. (1997). En la obtención de esta velocidad se hicieron una serie de suposiciones para establecer una tasa de convergencia confiable y que explican las discrepancias en el resultado obtenido en este trabajo y lo que dichos autores proponen. Las más importantes son:

- El gran sismo de Jalisco de 1932 “rompió” en la zona de interacción Rivera-Norteamérica (Singh et al., 1985; Pacheco et al., 1997) mientras que el sismo de Jalisco-Colima ocurrido el 9 de octubre de 1995, tuvo lugar en la frontera de la trinchera cerca del límite Rivera-Cocos (Pacheco et al., 1997), estos autores argumentan, tomando en cuenta la subsidencia observada, que el deslizamiento ocurrido en 1932 fue mayor que el observado en 1995.
- Un sismo no necesariamente representa el deslizamiento total de una placa respecto a otra. No existe garantía que en un sismo se liberé toda la energía y que el deslizamiento promedio sea igual al deslizamiento real. En otras palabras, es posible que exista deslizamiento asísmico.

- Tenemos un conocimiento limitado de la actividad sísmica en la región en términos del tiempo geológico, para poder establecer un periodo de recurrencia con precisión. Nishenko y Singh (1987) argumentan que el periodo de recurrencia en esta región sea pobremente conocido, pues se han registrado grandes sismos en 1806 (M~7.5), 1818 (M~7.7) y 1900 (M~7.6).

A pesar de lo anterior, se decidió utilizar el valor obtenido bajo las suposiciones hechas por Bandy et al. (1997), debido a que no existe una forma directa de obtener la tasa de convergencia entre las placas de Rivera y Norteamérica (Minster y Jordan, 1979; DeMets y Stein, 1990; Bandy, 1992; Bandy y Pardo, 1994).

Retomando, la diferencia en nuestros resultados con respecto a los de Kostoglodov y Bandy (1995). La actividad sísmica observada en la zona del Escarpe de las Tres Marías, es baja con relación a la que se esperaría con una alta tasa de convergencia de 2.5 a 3 cm/yr. Por ello, apoyamos un bajo valor de tasa de convergencia, tal como el obtenido en este trabajo. La tasa de velocidad relativamente baja explicaría la ausencia y baja cantidad de sismos de magnitud importante en esa zona.

- e) Al norte de las Islas Marías (21.8°N) se encuentra la zona de Fractura de Tamayo. El movimiento relativo entre la placa de Rivera y la placa de Norteamérica ha sido motivo de controversia. En esta zona se observan cambios más bruscos en la dirección del movimiento que predice el polo de rotación propuesto. Como se adelantó en secciones previas, en esta zona no hay convergencia entre ambas placas, se presenta un movimiento lateral derecho con dirección W - N10°W a N50°W. Con un movimiento lateral derecho a una tasa de 0.54 a 0.95 cm/yr. La incertidumbre en las localizaciones y la complejidad de la morfología de la zona no permite establecer con exactitud la geometría de la falla en esta región. Se propone que existe una amplia zona de deformación dominada por un sistema de fallas en *echelon* (escalonadas) con un movimiento lateral derecho.

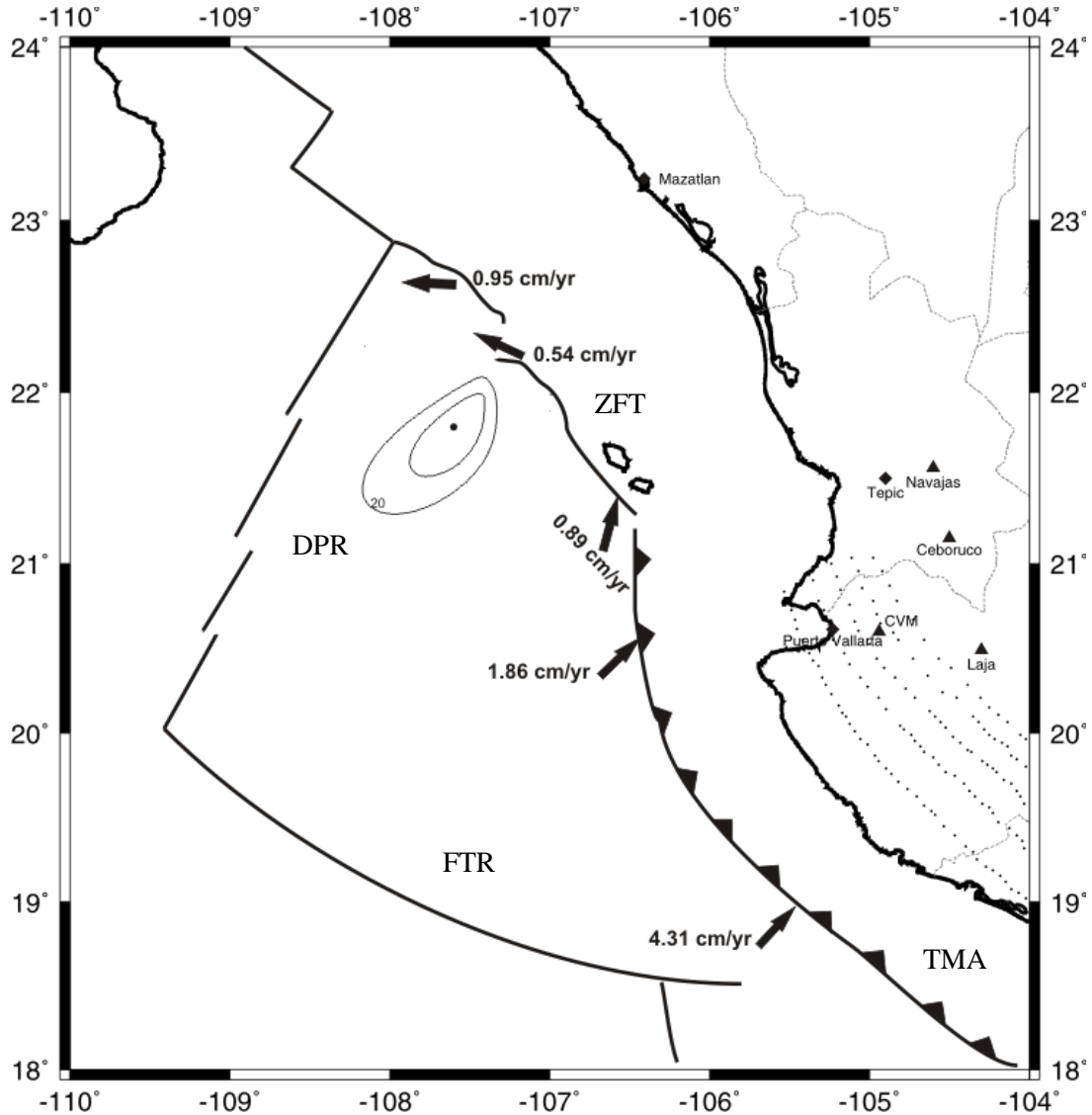


Figura 5.10. Ubicación del polo de rotación preferencial propuesto con línea de contorno de valor de ECM de 20. Las flechas indican tasa y dirección de la velocidad relativa de la placa de Rivera con respecto a la placa de Norteamérica. Triángulos indican volcanes, diamantes indican ciudades. Zona de Fractura de Tamayo (ZFT), Dorsal Pacífico Rivera (DPR), Trincheras Mesoamericanas (TMA), Falla Transformada de Rivera (FTR)