

Dado que los estudios de estados de esfuerzos a partir de datos sismológicos (mecanismos focales) requieren información de calidad sobre la localización del evento sísmico, en particular el parámetro de la profundidad, para los mecanismos focales de Harvard se tomó la localización del evento reportada en el catálogo EHB (Engdahl *et al.*, 1998). El análisis poblacional se realizó a partir de los mecanismos focales de terremotos del Catálogo CMT (*Centroid Moment Tensor*) de la Universidad de Harvard (Dziewonski *et al.*, 1981). En la determinación de los estados puntuales de esfuerzos actuales en la corteza se aplicó el *método de inversión de esfuerzos*, las poblaciones de mecanismos focales de terremotos se definieron a partir de criterios de localización espacial (agrupaciones o fuentes sísmicas) y criterios geológicos (límites de placa, regiones morfotectónicas), y para la selección del plano de falla se aplicó el *modelo de deslizamiento* acorde con la metodología propuesta por Capote *et al.* (1991). La figura 4 muestra el esquema metodológico propuesto.

Dziewonski *et al.* (1983), describen el *Método del Tensor Momento Sísmico*, convertido en un importante instrumento en las estimaciones rutinarias de los principales parámetros de la fuente sísmica (coordenadas hipocentrales y tensor momento sísmico) para terremotos con tamaño moderado. Este método calcula el mecanismo focal a partir del modelado de formas de onda, y el objetivo de la inversión es encontrar los pesos que dan el mejor ajuste

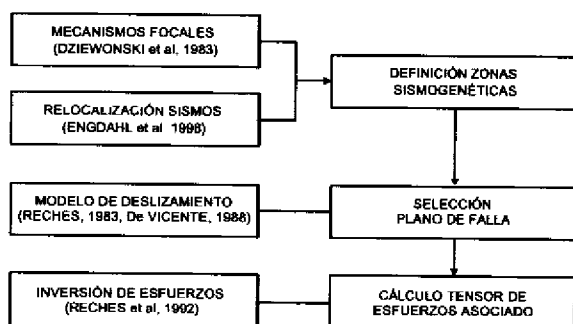


Figura 4 Esquema metodológico para el análisis de los tensores puntuales de esfuerzos

entre los sismogramas sintéticos y los observados. Dados unos parámetros iniciales (tiempo de origen, coordenadas epicentrales y profundidad), se deriva un tensor momento inicial. Estos parámetros representa los valores de partida para un procedimiento iterativo en el cual los cambios de los elementos del tensor momento son encontrados simultáneamente con cambios en los parámetros hipocentrales. En general el método es estable y converge rápidamente.

2. DATOS

Para el área analizada, el catálogo EHB tiene documentados, hasta el 11 de marzo de 2001, 12492 eventos sísmicos de los cuales 10425 (83.5%), registran buena calidad para los análisis de la distribución epicentral ($\text{gap} < 180^\circ$), y de ellos, 7389 (59.1%), buena determinación de la profundidad focal, para los análisis de la distribución hipocentral y determinación de la estructura. Este catálogo reporta magnitudes m_b , M_s y M_w , y para los análisis de la "completitud" de la base de datos considera una magnitud genérica, donde ' M ' es igual a M_w , $M_s (> 4.7)$ o m_b , en orden de preferencia descendente según disponibilidad. La distribución de magnitudes sigue la ley de potencia de Gutenberg-Richter (figura 5), y se considera completo para $M \geq 4.6$.

Los hipocentros tienen distribución "bimodal", con una concentración asociada a sismicidad cortical (< 30 km), y un segundo grupo sísmos

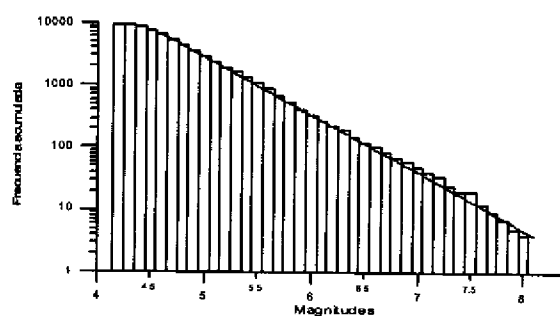


Figura 5. Distribución de magnitudes reportadas en el catálogo EHB para la zona analizada.

de subducción y el “nido” de Bucaramanga (alrededor de 150 km), sin presentar picos anómalos que puedan estar asociados al proceso de localización, efecto característico en muchos catálogos de sismos (figura 6).

En los parámetros de calidad para este catálogo se consideran RMS entre 0.2 y 2.3 s., y valor medio de 0.98 s., ERH comprendidos entre 2 y 35 km, con valor medio de 13.7 km, y ERZ en el rango 0 a 15 km, con promedio de 4.95 km.

El catálogo CMT, reconocido como el más completo y de mejor calidad, incluye 19052 mecanismos para sismos entre 1977 y mayo de 2002. La “completitud” se estima en $M_w \geq 5.75$, ≥ 5.55 , y ≥ 5.45 , a partir de 1977, 1982 y 1987 respectivamente (Molchan *et al.*, 1997). Para la zona, Harvard reporta 1527 mecanismos focales, y del análisis se eliminaron 96 eventos (6.3%), para en los cuales durante el proceso de inversión se fijó alguno de los elementos del tensor momento. La figura 7 ilustra las magnitudes y profundidades de estos eventos.

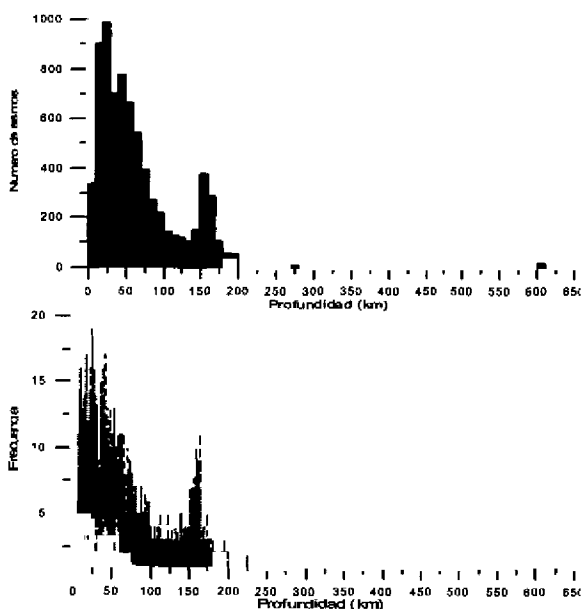


Figura 6. Profundidad focal para los eventos del catálogo EHB. Arriba, histograma para rangos de profundidad de 10 km; abajo, distribución de frecuencias para 0.1 km.

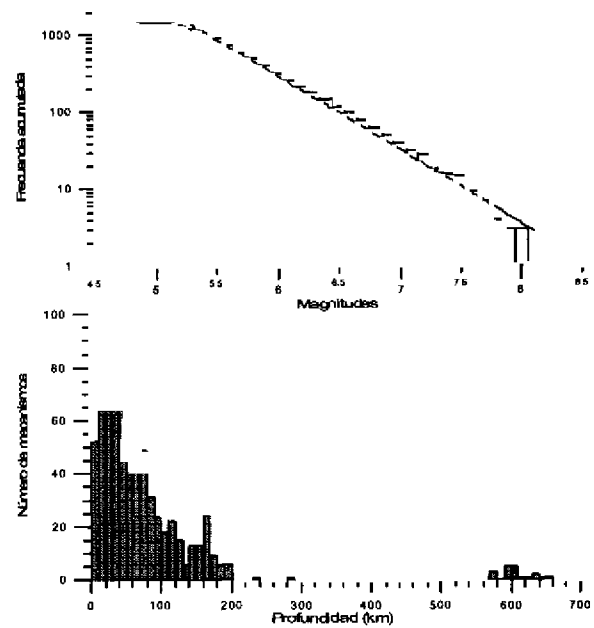


Figura 7. Distribución de magnitudes M_w e histograma de profundidades para los mecanismos focales reportados en el catálogo CMT de Harvard

De manera similar a los indicadores de calidad en las localizaciones de hipocentros y de los mecanismos focales de terremotos a partir de la polaridad de la onda P , existen parámetros para valorar la “calidad” de las determinaciones por el método del tensor momento sísmico. Frohlich & Davis (1999) proponen dos parámetros para valorar la desviación (ϵ) de las soluciones de mecanismo de doble par de fuerzas y un error relativo (E_{rel}) para las componentes del tensor momento sísmico.

3. RESULTADOS

Aceptado que la actividad sísmica de una región proporciona los rasgos generales del contexto geodinámico, su distribución permitirá identificar los márgenes de placas activos y el estudio de los mecanismos focales, caracterizar los regímenes tectónicos y estados de esfuerzos actuales

Una observación de la sismicidad en Colombia permite identificar que ésta comprende eventos de distintos orígenes: subducción en el Pacífico, actividad en el noroccidente (frontera con Panamá), fallas en la zona andina, “ndo” de Bucaramanga y eventos profundos en el cratón. Con excepción de las fallas de la zona andina, que en general registran menores magnitudes, esta sismicidad queda bien definida por las redes sismológicas mundiales, y reportada en el catálogo EHB (figura 8).

Considerando que los campos de esfuerzos están determinados por la dinámica de los límites de placas, definir las condiciones de contorno de la zona requiere estudiar el empuje que se transmite desde los límites de placas, por constituir éstos la fuente generadora de mayor importancia dentro de las fuerzas primarias de esfuerzos que se propagan miles de kilómetros hacia el interior de las placas. El análisis de Poblaciones de Mecanismos Focales resulta ser una herramienta útil para estudiar el contexto geodinámico de una compleja y vasta región como la esquina noroccidental de Suramérica y sur de Centroamérica, donde convergen las placas Caribe, Cocos, Nazca y Suramérica (figura 9). Los tensores puntuales permiten determinar tanto la orientación de los ejes principales del tensor de esfuerzo, como su razón axial R (figura 10).

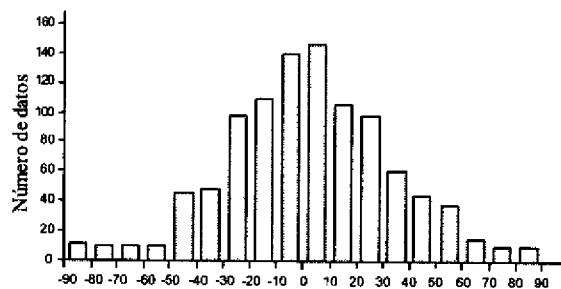
La subducción presente en la zona es quizá el proceso de mayor importancia, dado que allí convergen tres placas principales y buena parte de la deformación se resuelve a lo largo de estas zonas, caracterizadas por alta sismicidad y magnitudes moderadas a altas. También son importantes los esfuerzos que se transmiten desde las dorsales y en las fallas transformantes. Finalmente, las zonas de deformación continental (microplacas o deformación distribuida), son las encargadas de absorber la dinámica de las placas mayores.

Zoback *et al.* (1989) establecen la correlación directa entre el movimiento de las placas y los campos de esfuerzos primarios. Para ello

comparan la orientación del vector de velocidad de grandes placas litosféricas con respecto a las direcciones actuales del esfuerzo máximo horizontal deducidas en las mismas (figura 11).

De manera general se acepta que el movimiento de una placa litosférica está constreñido por el de todas las otras, y que un cambio importante en la dirección o velocidad del movimiento en un punto, provoca una redistribución global del modelo de movimiento de las placas. Estudios globales y modelos teóricos dan información general sobre los vectores desplazamiento de las grandes placas litosféricas, y proyectos específicos como el proyecto CASA (Central and South America) proporcionan valores sobre los desplazamientos relativos en la zona de interacción de las placas Caribe, Cocos, Nazca y Sudamérica, y las microplacas de Panamá - Costa Rica y Bloque Andino (figura 12), lo que permite comparar los resultados de los tensores de esfuerzos con los vectores así determinados.

La integración de los resultados de esfuerzos con los desplazamientos relativos de las placas respecto a la placa Caribe, que según Müller *et al.*, (1999) permanece estacionaria desde hace 38.4 m.a., permite plantear el contexto sismotectónico de este área en los siguientes términos (figura 13):



Diferencia angular entre σ_{HMAX} y la orientación del vector velocidad

Figura 11.- Histograma de frecuencias acumuladas de las desviaciones de orientaciones de σ_{HMAX} establecidas para la placa de Norteamérica con respecto a la orientación del vector velocidad (modificado de Zoback, 1992).

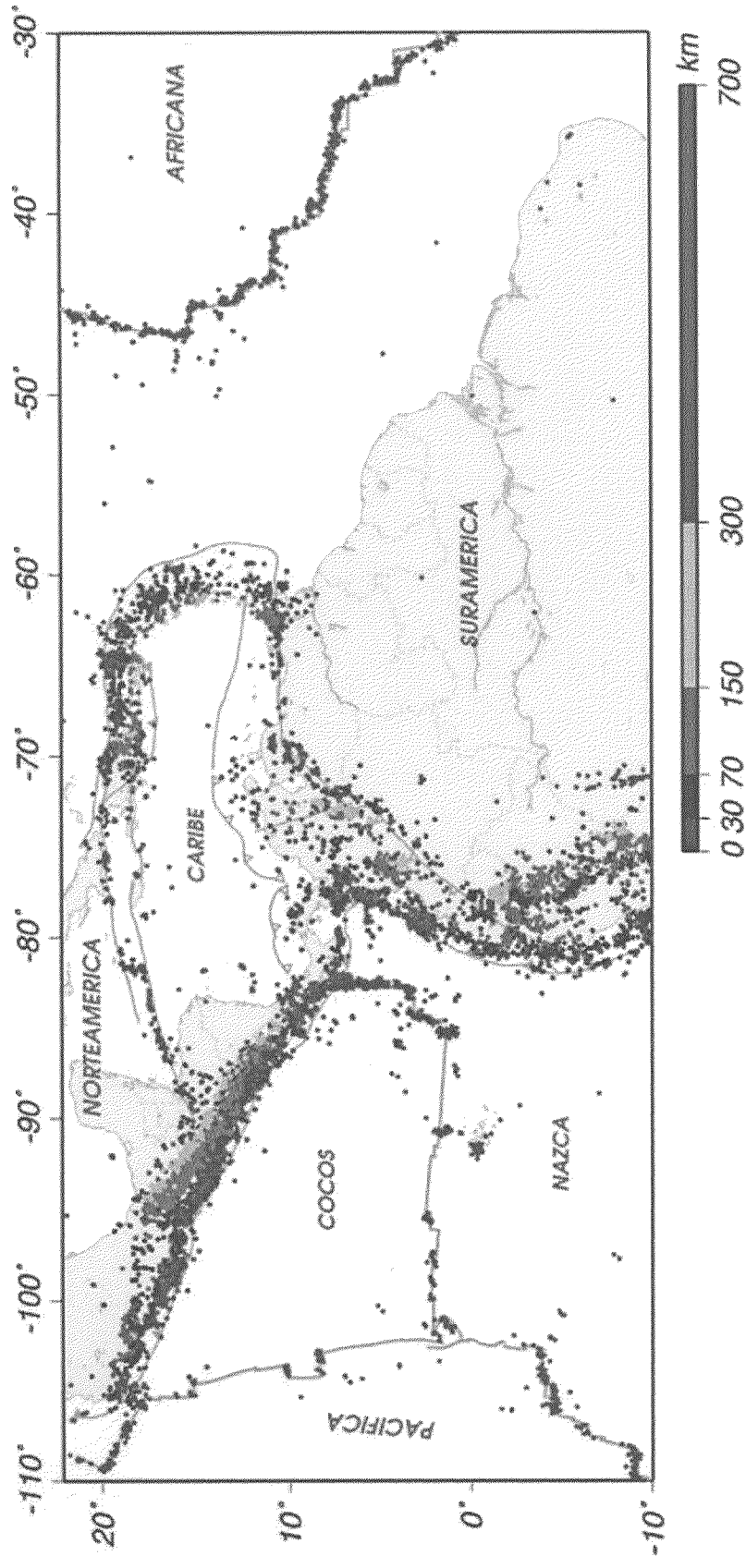


Figura 8. Distribución de la sismicidad del catálogo EHB (Engdahl, et al., 1998), en función de la profundidad focal.

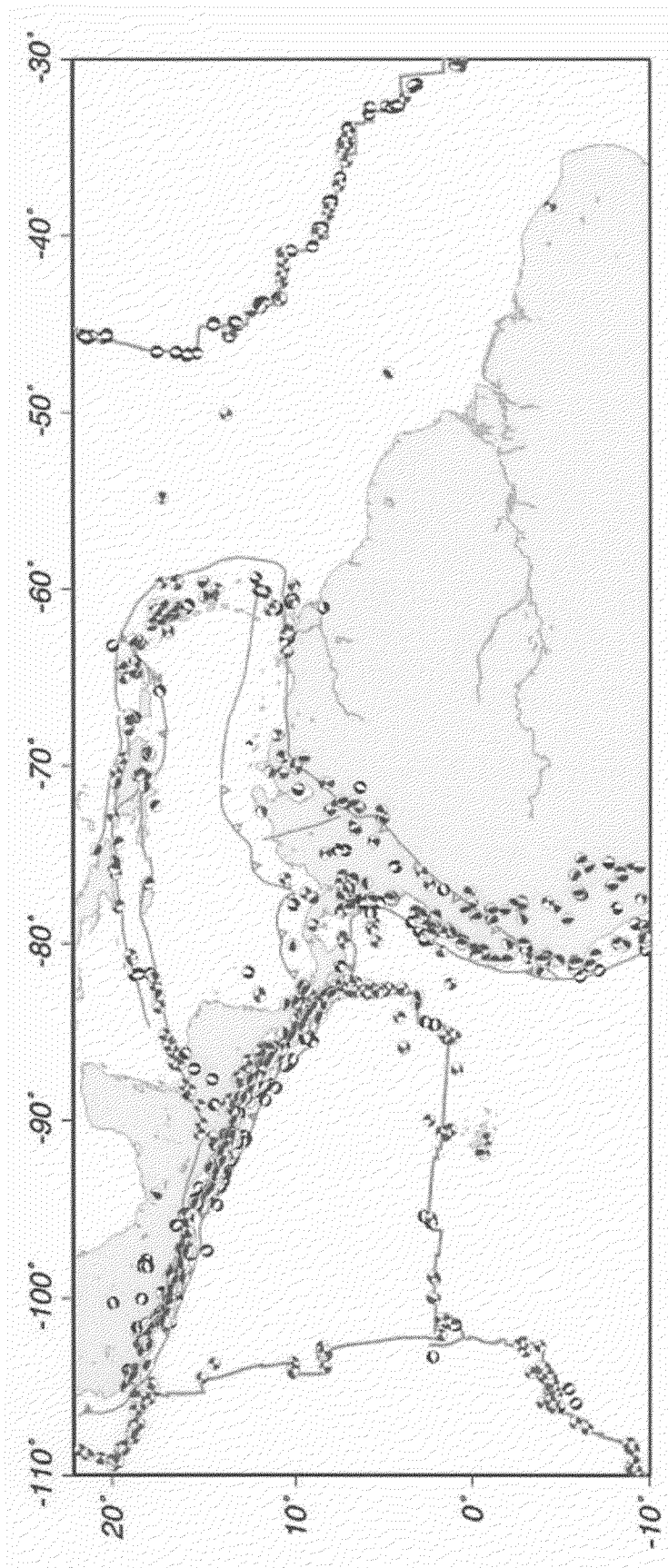


Figura 9. Mecanismos focales para terremotos superficiales del catálogo CMT de la Universidad de Harvard. Símbolos rojos para los mecanismos de falla inversa, símbolos verdes para los mecanismos de desgarre y símbolos azules para falla normal

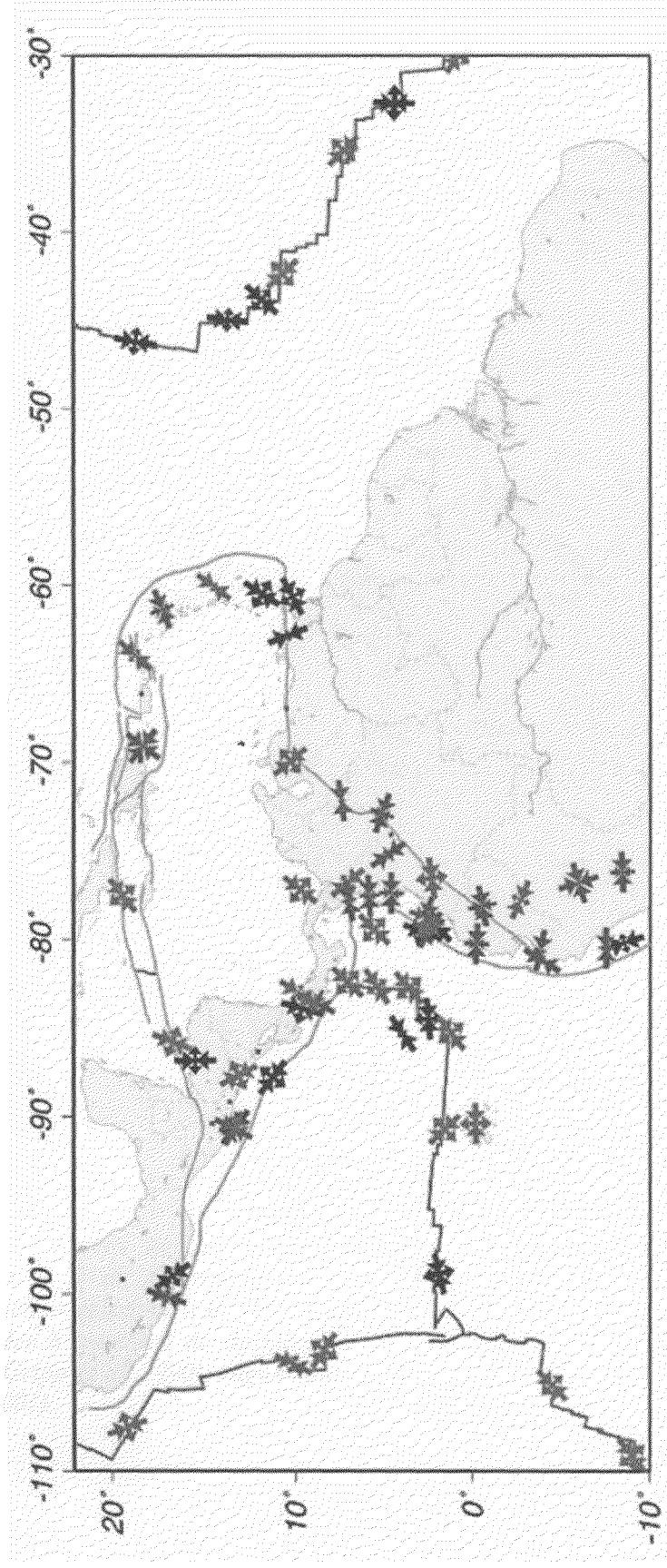


Figura 10. Tensores puntuales de esfuerzos calculados a partir del Análisis de Mecanismos focales de terremotos superficiales (catálogo CMT de la Universidad de Harvard). Símbolos rojos para regímenes compresivos, símbolos verdes para regímenes de desgarre, y símbolos azules para regímenes de extensión.

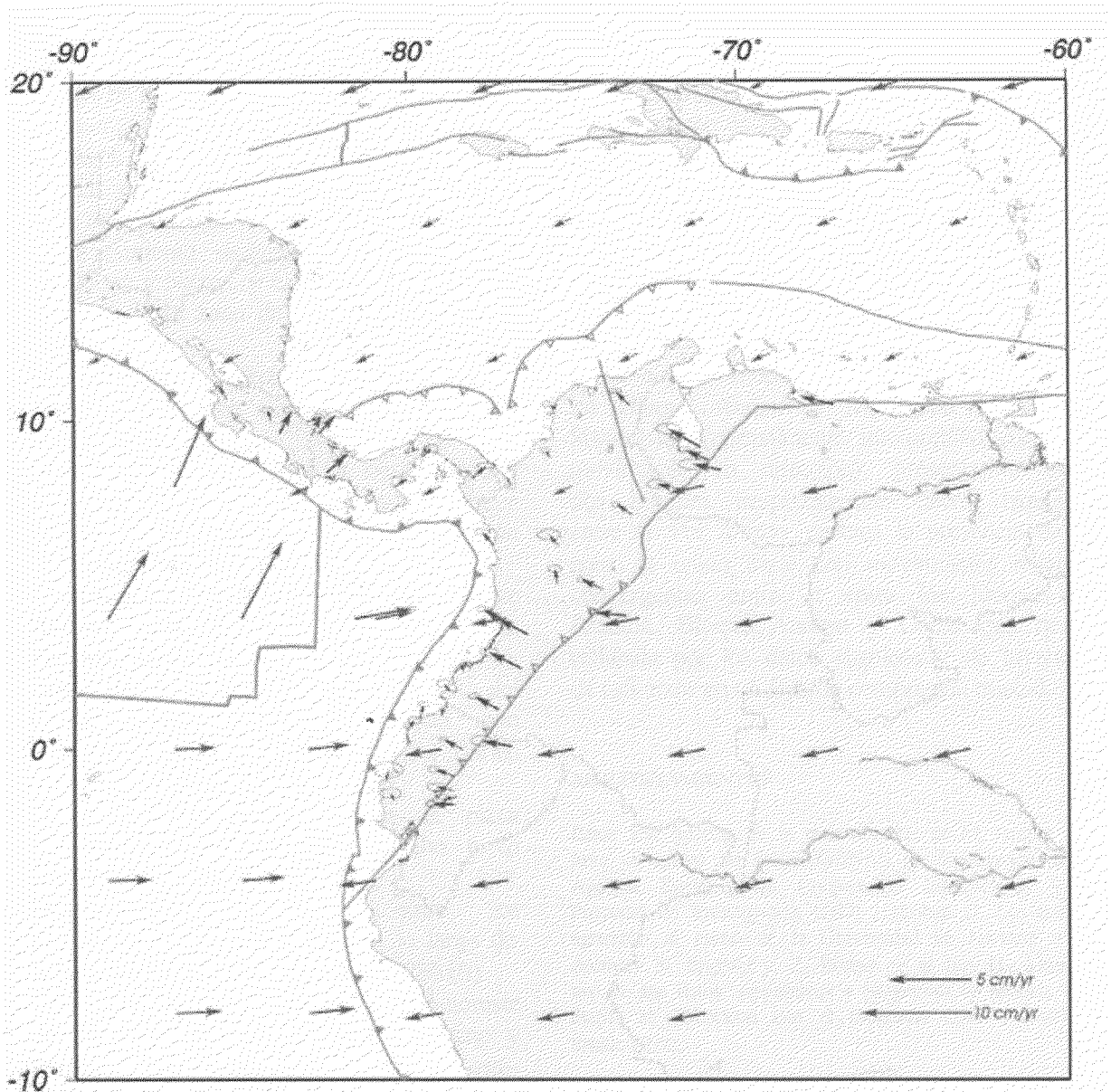


Figura 12. Vectores de desplazamiento para las placas litosféricas en la esquina NW de Suramérica y S de Centroamérica. Las flechas rojas corresponden a resultados de los desplazamientos relativos a la placa Caribe (H. Mora , comunicación personal); las flechas verdes corresponden a vectores de desplazamiento que predice el modelo Nuvel-1 relativo a puntos calientes (Gripp et al., 1990), según datos del Proyecto iGMT-Global plate motions relative to HS2 (Wessel, 2001).