



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Inversión de fase W para
sismos en México de $M_w \geq 5.5$
que ocurrieron de 2010 a 2019**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Geofísico

P R E S E N T A

Deni Montserrat González López

DIRECTOR(A) DE TESIS

Dra. Xyoli Pérez Campos



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021

Tabla de contenido

Agradecimientos	1
Resumen	3
Abstrac	4
I. Introducción	5
II. Contexto geotectónico de la República Mexicana	7
III. Fuente sísmica	9
III.1. Patrón de radiación	10
III.2. Mecanismos focales	12
III.3. Tensor de momento	14
III.4. Modelado e inversión de formas de onda	17
IV. Fase W	23
IV.1. Inversión de la fase W.....	24
IV.1.1. Sismos de $M_w \geq 5.5$ en México del año 2010 a 2019	28
V. Resultados	31
V.1. Mecanismos focales	32
V.2. Localización, gap azimutal y número de estaciones	36
V.3. Magnitud	39
V.4. Componentes del tensor de momento	41
V.5. Eventos sin solución de fase W	43
VI. Discusión y conclusiones	45
VI.1. Conclusiones.....	51
Referencias	53
ANEXO A	56

Agradecimientos

A mi madre Graciela López por su amor, apoyo incondicional y enseñanzas que me ha dado a lo largo de mi vida, eres quien siempre me mantiene en pie, mi fortaleza.

A mi padre Héctor Alejandro González por apoyarme, impulsarme y no dejar de caminar conmigo a pesar de todo; nunca olvido la primera exposición que tuve en mi vida, significo mucho para mí.

A mis segundos padres: Elvia Méndez y José López por procurarme, ser un pilar, una parte fundamental de mi vida.

A mis hermanos, Andrea Odette y José Fernando quienes cada día me aportan algo nuevo con sus distintas personalidades, son mi compañía, me motivan a dar lo mejor de mí. Espero que Oliver también sienta nuestra unión.

A Sergio Ibarra por ser mi papá adoptivo, por su apoyo en mi estancia en la universidad y cuidados. Aunque ya no estes físicamente siempre te tendré presente.

A Gustavo Sánchez por su cariño, palabras de aliento y dejarme ser parte de su vida estos años. Sin duda alguna no hubiera sido lo mismo sin todas esas historias compartidas.

A Gabriela Alvarado, Mónica Ramírez y Jorge Cruz por su valiosa amistad y apoyo, es muy bonito saber que han estado y estarán conmigo sin importar lo que nos depare el destino. También quiero mencionar al equipo dinamita: Gustavo Sánchez, Isaac Valverde, Josué García y Gilberto Aquino; gracias por las risas, su esfuerzo y compromiso.

A la Dra. Xyoli Pérez Campos por dirigir este trabajo, escucharme y ayudarme en momentos complicados, por transmitir el amor por lo que hace, con eso inspira a muchas personas. Gracias a mi admirable jurado el Dr. Martín Cárdenas Soto, Dr. Víctor Hugo Espíndola, Dr. Arturo Iglesias y al Dr. Josué Tago Pacheco; por su tiempo y comentarios para mejorar esta tesis.

Agradezco a cada uno de los profesores que he tenido a lo largo de mi vida académica, mi camino fue forjado por muchas de sus enseñanzas.

Los datos sismológicos de este trabajo fueron obtenidos por el Servicio Sismológico Nacional. Agradezco a todo el personal del mismo por el mantenimiento de las estaciones, la adquisición y distribución de los datos.

Esta investigación fue realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM IN106119. Agradezco a la DGAPA-UNAM por el apoyo para mi asistencia a la Reunión Anual de la Unión Geofísica Mexicana 2020 a presentar los resultados de este trabajo.

Gracias al Proyecto Interno S113 del Instituto de Geofísica, a CONACYT por brindarme el apoyo como ayudante de investigador nacional nivel III y a la Dirección General de Orientación y Atención Educativa (DGOAE) por otorgarme la Beca de Titulación.

Finalmente, gracias a mi querida Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma máter, por permitirme ser parte de su comunidad primero en el Colegio de Ciencias y Humanidades y después en la Facultad de Ingeniería. Se convirtió en mi segunda casa. Entrar a esta institución ha sido un parteaguas en mi historia.

Resumen

La República Mexicana está situada en una zona sísmica; dicha actividad deriva de la interacción de las placas tectónicas de Norteamérica, Pacífico, Cocos, Rivera y Caribe. Si bien es cierto que los estados en la costa del Pacífico sufren un mayor impacto por la sismicidad del país, otros estados al interior de la República también se han visto gravemente afectados, como es el caso de la Ciudad de México. Por esta razón, la rápida caracterización de la fuente sísmica y sus efectos tienen una gran relevancia. El propósito de este trabajo es describir los resultados obtenidos con la metodología de inversión de la fase *W*, empleando los datos de la Red de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional (SSN), para eventos de $M_w \geq 5.5$ que han ocurrido en México entre los años 2010 y 2019. La solución obtenida con fase *W* es comparada con la solución rápida que obtiene el SSN, la reportada por el United States Geological Survey (USGS) y por la agencia Global Centroid Moment Tensor (GCMT), mostrando la consistencia y validez de la solución regional. La diferencia de magnitud de todos los eventos pocas veces excede 0.2. Las discrepancias más importantes en cuanto a magnitud y mecanismo focal parecen estar relacionadas con un menor número de canales y estaciones usados en la inversión. También se observó que los mecanismos focales que se obtienen en la solución revisada de fase *W* para los sismos que ocurren en la zona de fractura de Rivera muestran mayor diferencia, con respecto al resto de las agencias, en el echado de uno de los planos nodales. El mayor valor del *gap* azimutal, reportado en los resultados de la inversión se obtiene para eventos de Chiapas y del Norte de Baja California, sin embargo, no afecta la magnitud ni el mecanismo focal. Los resultados muestran que la solución regional obtenida de datos locales con la inversión de la fase *W* para eventos de magnitud mayor o igual que 5.5 en México es una estimación confiable.

Abstrac

The Mexican Republic is situated on a seismic zone; such activity derived of interaction to tectonic plates Nortamerica, Pacific, Cocos, Rivera and Caribe. While it is a true that states of the Pacific Coast provides a great impact for the seismicity country, other states inland have also been seen affected, for example the Mexico City. Due to this fact, the fast characterization of the seismic source and its effects have importance. The purpose of this job is describe the results gotten with the W phase inversión, employing broadband network data to the National Seismological Service(SSN), for events of $M_w \geq 5.5$ that have occurred in Mexico from 2010 to 2019. The solution through W phase is compared with the SSN fast solution N, the reported by United States Geological Survey (USGS) and the agency Global Centroid Moment Tensor (GCMT). The results showed consistency and validity of the regional solution. The magnitud difference of the all events rarely exceed 0.2. The more important magnitud differences and focal mechanism seem to be related with the lower number of chanel and stations used in inversion. Also focal mechanism obtained with revised solution of W phase for events occurred in the fracture Rivera zone, show major difference in one dip nodal planes with regard to agencies. The highest gap azimuthal value, reported in the inversion results was gotten for Chiapas and Baja California events, however, such gap neither affected magnitude nor focal mechanism. The results show that regional solution from local data by the W phase inversion for events to magnitud greater than or equal 5.5 in Mexico is a reliable estimate.

I. Introducción

Como se ha visto a lo largo de la historia, México es un país altamente sísmico. Los sismos que se pueden presentar en el país tienen magnitudes variadas; sin embargo, una gran cantidad de eventos de $M_w \geq 7$ han sacudido la región provocando daños catastróficos. Quizás dos de los más famosos por sus severas consecuencias, sean el sismo del 19 de septiembre de 1985 ($M_w 8.5$) y el del 19 de septiembre de 2017 ($M_w 7.1$). Sin embargo, también se tiene el registro de otros eventos que han causado grandes destrozos, como, por ejemplo, el del 3 de junio de 1932 en las costas de Jalisco y Colima que produjo un tsunami. Lo anterior hace que sea fundamental obtener de forma precisa los parámetros de fuente de un sismo en el menor tiempo posible.

En el Capítulo II de este trabajo se habla de cuáles son las principales características de la tectónica de la República Mexicana, qué placas tectónicas interactúan, cómo se mueven, cómo son los mecanismos focales de los sismos que se producen. Esto para entender el origen de la sismicidad en el país y la importancia de su estudio.

La inversión de fase W es una metodología inicialmente desarrollada por Kanamori & Rivera (2008). La fase W, por su carácter de periodo largo, tiene la cualidad de poder ser usada para la rápida caracterización de un sismo de gran magnitud. Además, no se requiere del registro completo para poder conocer la localización, mecanismo focal, magnitud y las componentes del tensor de momento de un sismo. El Capítulo III trata precisamente, acerca del fundamento teórico que existe detrás de los principales parámetros de fuente sísmica, su definición y su significado físico. En el Capítulo IV se encuentran las características de la fase W que permiten que pueda ser usada en un proceso de inversión con la finalidad de describir la fuente a poco tiempo de que ocurrió el sismo.

En este trabajo se analizan con una solución revisada de fase W aquellos eventos de $M_w \geq 5.5$ que ocurrieron en México de 2010 a 2019. Es en la última parte del Capítulo IV en donde se encuentra una descripción de cómo se realiza el proceso de inversión utilizando el programa fase W, desarrollado por Duputel et. al (2012).

En este trabajo, lo que se pretende es identificar por medio de la comparación con los resultados de otras agencias la incertidumbre de los parámetros que caracterizan a un

sismo, que ocurre en cualquier parte de la República Mexicana, usando la solución revisada de la inversión de fase *W* y los registros de la red de Banda Ancha del SSN. Las diferencias de los resultados pueden ser identificadas por medio de la comparación con: 1) la solución rápida o en tiempo real que obtiene el Servicio Sismológico Nacional (SSN) a partir del año 2014, 2) los resultados reportados por el United States Geological Survey (USGS) y 3) por el proyecto Global Centroid Moment Tensor (GCMT). Los resultados de estas comparaciones se explican en el Capítulo V.

Las comparaciones que aquí se reportan se enfocan en el mecanismo focal, magnitud y componentes del tensor de momento. El Capítulo VI se centra en la discusión para identificar si hay un sesgo en la estimación de estos parámetros dependiendo de la localización del sismo, gap azimutal, número de estaciones y canales usados en la inversión.

Las conclusiones giran en torno a identificar el comportamiento de los resultados de la inversión de fase *W* en México, lo que nos permitirá saber si la metodología de fase *W* es confiable en todos los casos o en donde se presentan las diferencias más importantes.

II. Contexto geotectónico de la República Mexicana

El territorio que comprende la República Mexicana es una de las regiones en el mundo cuya evolución tectónica ha sido altamente compleja, al grado que, en el registro geológico del país se encuentran rastros de la formación y disgregación de los supercontinentes Columbia, Rodinia y Pangea (Ortega-Gutiérrez et al., 2018). En la actualidad, el territorio mexicano se encuentra distribuido sobre cinco placas tectónicas: Pacífico, Norteamérica, Caribe, Rivera y Cocos (Figura II-1).

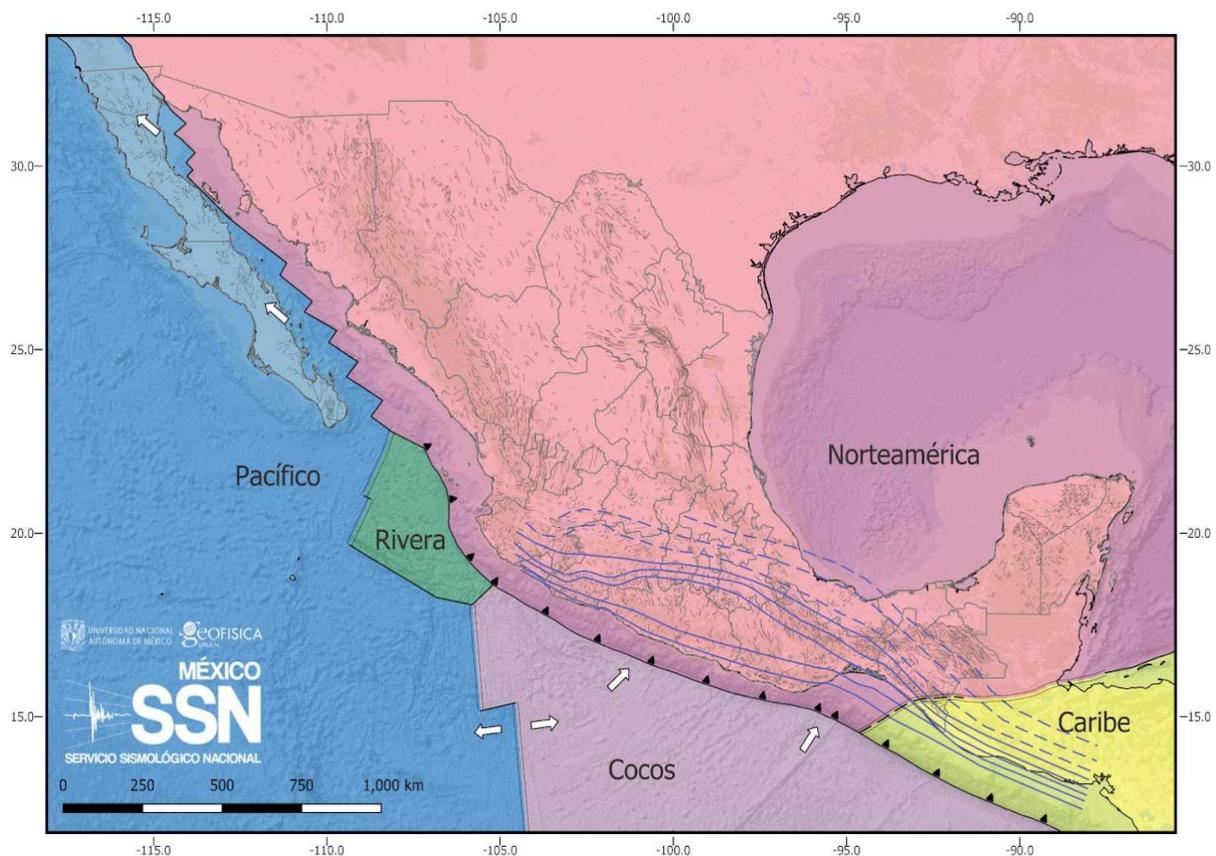


Figura II-1 Placas que interactúan en el territorio mexicano. Tomada de Servicio Sismológico Nacional (2020).

Al noroeste, la placa Pacífico se mueve en dirección NW a una velocidad de 52 mm/año relativo a la placa Norteamérica (Atwater & Stock, 1998); este movimiento se ha mantenido por años desde la apertura del Golfo de California, en el Mioceno. La frontera entre éstas es la principal área de actividad sísmica en la zona norte y se extiende desde el Golfo de California hasta conectarse con la parte más al sur de la falla de San Andrés en California (Hauksson et al., 2011). Los sismos de corrimiento lateral son propios de este margen de placas.

Cercano a la zona centro, aun en el noroeste, la microplaca Rivera converge y subduce bajo la placa Norteamérica, en el estado de Jalisco, a una velocidad de 20 mm/año (Demets & Stein, 1990). Además, Rivera posee una componente de movimiento oblicuo al noroeste, compartiendo así un borde divergente con la placa Cocos cuyo movimiento es de aproximadamente 20-30 mm/año, por lo que se considera que se desprendió de Cocos hace $\sim 5-10$ Ma (Demets & Traylen, 2000). Aunque en ambos límites ocurre sismicidad, la ocurrencia por subducción es la más común y recurrente en la región, con eventos de mecanismo inverso y componente lateral.

Al centro sur del país, la placa de Cocos, una de las más famosas, por ser la fuente de mayor actividad sísmica en el país, subduce bajo la placa de Norteamérica y en menor medida bajo la placa del Caribe. A pesar de compartir origen con la placa Rivera, Cocos posee diferentes características, además del tamaño, la placa de Cocos se mueve hacia Norteamérica con una velocidad de 60 mm/año (DeMets et al., 1990), mucho más rápido que Rivera. Geométricamente, la placa tiene variaciones en el ángulo de subducción a lo largo de la trinchera, al norte, en la frontera con Rivera, el ángulo es más pronunciado, $\sim 50^\circ$, mientras que, en la zona sur, cerca del Istmo de Tehuantepec el ángulo es de $\sim 30^\circ$ (Pardo & Suarez, 1995). Además, los estudios de Pérez-Campos et al. (2008) y Kim et al. (2010) demostraron que, en la zona central, cerca de Acapulco, la subducción se da al inicio casi de manera casi horizontal ($\sim 17^\circ$) y se vuelve horizontal a ~ 80 km de la línea de costa.

Desde 1900, en México se han registrado 83 sismos con magnitud mayor de 7 (SSN, 2021), cuatro de ellos han sido igual o mayores de 8.0. Los sismos con mayor magnitud (8.2) son dos, uno de ellos ocurrió el 3 de junio de 1932 en las costas de Jalisco y Colima, el segundo el 8 de septiembre de 2017 en el Golfo de Tehuantepec. El primero fue un sismo de subducción y ocurrió en el contacto de las placas de Rivera y Norteamérica; el segundo fue un sismo intraplaca en la de Cocos (e.g. Espíndola & Pérez-Campos, 2018).

III. Fuente sísmica

El interior de nuestro planeta está sometido a condiciones de alta presión y temperatura que dan lugar a diversos procesos geológicos. Los grandes esfuerzos que se producen provocan que las rocas que tienen un comportamiento frágil se rompan, generando fracturas, que pueden ser vistas como superficies de debilidad sobre las cuales es posible el movimiento de un bloque respecto a otro, convirtiéndose en fallas.

Un sismo es la liberación de energía en forma de ondas sísmicas, que se produce cuando ocurre el fallamiento. Por lo que, para caracterizar dicho evento es necesario analizar los registros sísmicos obtenidos.

La geometría de una falla se puede observar en la Figura III-1. Los principales componentes son:

1. Plano de falla sobre el que se da el deslizamiento.
2. Rumbo o *strike* (ϕ_f), que es el ángulo que se forma entre la intersección del plano de falla y la superficie de la Tierra con el norte, este es medido en sentido horario.
3. Echado o *dip* (δ), que es el ángulo entre la superficie de la Tierra y el plano de falla.
4. Vector normal (\hat{n}) al plano de falla
5. Vector de deslizamiento (\hat{d}), el cual define la dirección y sentido del movimiento del bloque de techo con respecto al bloque de piso.
6. Ángulo de deslizamiento o *rake* (λ), que es el ángulo que se forma entre la dirección del rumbo y el vector de deslizamiento; este se mide sobre el plano de falla en sentido antihorario.

Los componentes de una falla se pueden definir en diferentes sistemas coordenados, sin embargo, el cartesiano es el más común (Figura III-1). En este caso, se alinea uno de los ejes, por ejemplo x_1 , con el rumbo de la falla, el eje x_3 se orienta apuntando hacia arriba y, por consiguiente, el eje x_2 será perpendicular a los dos anteriores. Orientar la falla con respecto a un sistema coordenado es útil para determinar la dirección del movimiento de un bloque respecto al otro. La falla se puede definir en términos del rumbo, echado y ángulo de deslizamiento o con el vector normal y el vector deslizamiento.

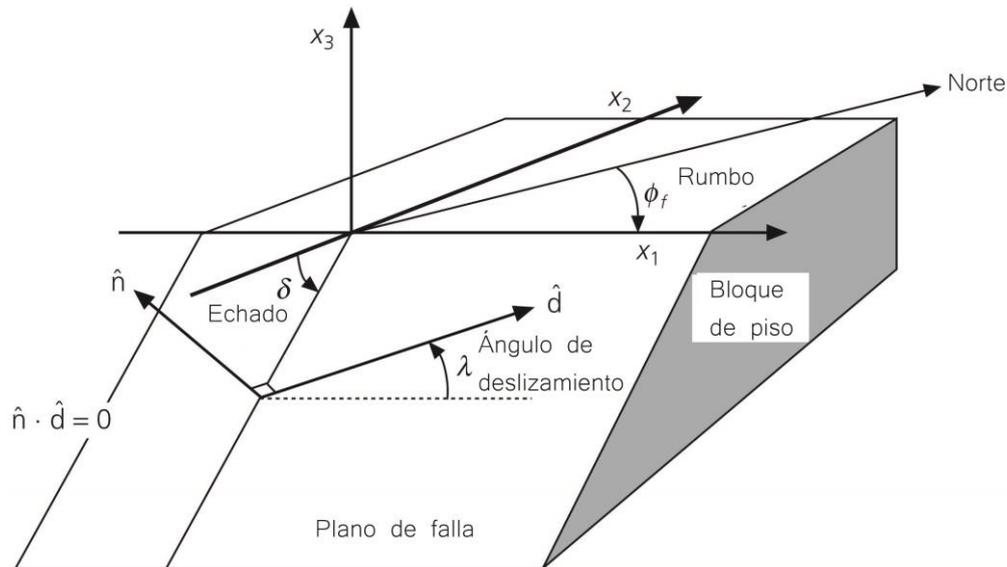


Figura III-1 Geometría de una falla en donde se señalan sus componentes principales, descritos en el texto. Tomada de Stein & Wysession, 2003.

Conocer el movimiento sobre la falla que originó el sismo no es sencillo porque la mayoría no rompen la superficie, así que se recurre a datos sismológicos para definirlo.

III.1. Patrón de radiación

Para entender la relación entre el patrón de radiación con la orientación del plano de falla se debe considerar que las ondas sísmicas están influenciadas por la distribución de los esfuerzos en la fuente, por lo tanto, transmiten sus características a regiones alejadas de esta. De tal manera que, el patrón de radiación es una descripción geométrica de la amplitud y sentido del movimiento inicial distribuido sobre los frentes de onda P y S en la vecindad de la fuente (Lay & Wallace, 1995). Por lo que, definiendo el patrón de radiación se puede conocer cómo fue el movimiento en la falla.

Si se considera un marco de referencia en coordenadas cartesianas orientado de la misma manera que en la Figura III-1 y se introducen coordenadas esféricas (r, θ, φ) , el ángulo θ es medido en el plano x_1x_3 a partir del eje vertical y φ es medido en el plano x_1x_2 en sentido antihorario (Figura III-2a).

Se pueden describir los desplazamientos de onda P como:

$$u_r = a \sin 2\theta \cos^2 \varphi, \quad \text{(III.1)}$$

donde α representa el factor de amplitud; si los desplazamientos no cambian en la dirección φ , es decir, solo hay cambios en el plano x_1x_3 ; el patrón de radiación que se dibuja tiene cuatro lóbulos (Figura III-2b), con cuadrantes de polaridad alterna, separados por regiones en donde los desplazamientos son cero que se conocen como planos nodales. A 45° se dan los mayores desplazamientos (Figura III-2c).

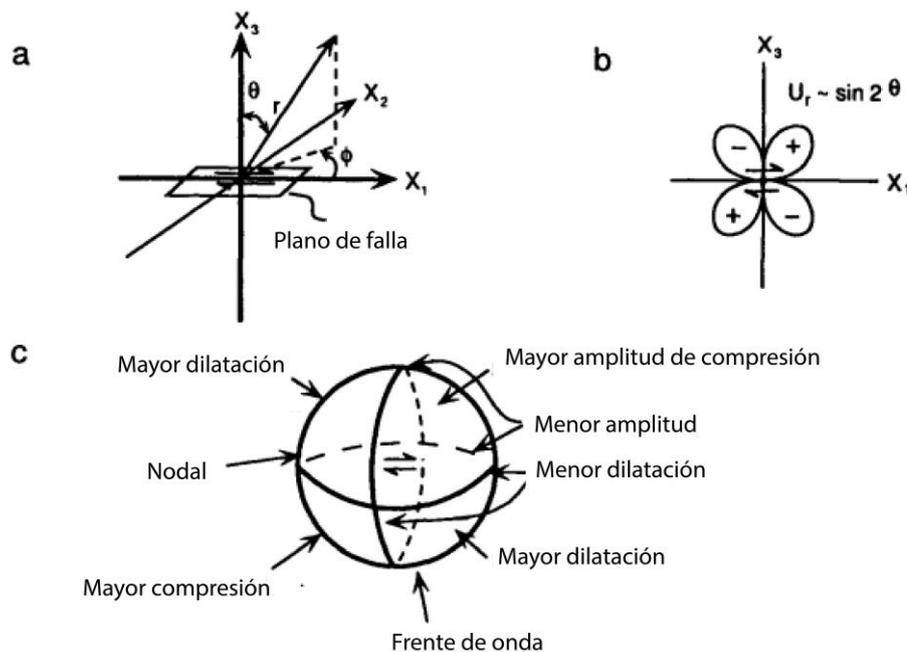


Figura III-2 a) Sistema de referencia para representar matemáticamente el patrón de radiación. b) Patrón de radiación de onda P. c) Patrón de radiación de onda P en una esfera para una fuente de doble par. Tomada de Lay & Wallace (1995).

El patrón de radiación de un sismo es generado por un conjunto de fuerzas con una geometría correspondiente (Stein & Wysession, 2003). No obstante, estas fuerzas no solo tienen un sentido, así que para caracterizarlas se debe cuantificar el desplazamiento que producen. Por lo tanto, se incluyen en la ecuación de movimiento con el término f :

$$\rho \ddot{u} = f + (\lambda + 2\mu)\nabla(\nabla \cdot u) - \mu\nabla \times \nabla \times u, \quad (\text{III.2})$$

en donde ρ es la densidad, u , los desplazamientos, f , las fuerzas de cuerpo, λ y μ representan la constante de Lamé y el módulo de rigidez, respectivamente.

El proceso de ruptura que origina un evento sísmico es complejo porque el movimiento en toda el área sobre la que se produce el fallamiento no es el mismo, ni tiene las mismas características en toda la región. Lo que se hace para simplificar los esfuerzos que hacen posible el deslizamiento, es calcular un promedio de las propiedades de ruptura: 1) área total de ruptura, 2) promedio de deslizamiento sobre la falla, 3) promedio de velocidad y

4) propagación de la ruptura (Lay & Wallace, 1995). De tal manera que el modelo complejo de ruptura puede remplazarse por un modelo promedio de dislocación, que a su vez puede ser representado por un sistema de fuerzas de cuerpo equivalentes que producen el mismo patrón de radiación que todo el sistema de fuerzas complejo en el área de ruptura.

Tanto el modelo de dislocación, como el sistema de fuerzas de cuerpo equivalentes, no revelan los detalles de la ruptura, sin embargo, son útiles para definir las características generales.

El sistema de fuerzas puede ser representado por un par de ellas, que tienen sentidos contrarios y se encuentran separadas una cierta distancia entre sí. Si solo se considera un par de fuerzas, por sus características, el momento angular sería diferente de cero, sin embargo, físicamente esto no tiene sentido, por lo que, se considera otro par de fuerzas actuando sobre un plano auxiliar al principal. Entonces, la radiación de ondas sísmicas se puede describir como el resultado de un doble par de fuerzas.

Un caso más general de un sistema de fuerzas de cuerpo equivalentes es el tensor de momento.

III.2. Mecanismos focales

La representación gráfica del mecanismo focal, es decir, del movimiento en una falla se conoce como pelota de playa. Se obtiene del análisis de sismogramas registrados en estaciones a diferentes distancias y azimuts.

Para representar gráficamente la falla, se considera una esfera focal alrededor de la fuente. Esta esfera focal se caracteriza por ser un medio homogéneo, por lo que, la trayectoria de los rayos en esta es en línea recta (Lay & Wallace, 1995).

Con la finalidad de simplificar el caso en tres dimensiones, se utiliza una proyección estereográfica, en la que se proyecta la esfera focal en un solo plano. Considerando que la mayoría de las observaciones se hacen sobre la parte inferior de la esfera focal y las observaciones sobre la parte superior pueden ser transferidas a la parte inferior

sumando 180° al ángulo de incidencia a la fuente, la parte inferior de la esfera focal es la que se usa mayormente en la proyección (Havskov & Ottemöller, 2010).

Las pelotas de playa muestran cuatro cuadrantes separados por los planos nodales: dos de dilatación y dos de compresión. Por convención, los cuadrantes de dilatación se dejan sin color, mientras que, los de compresión se colorean. También, a partir de la proyección estereográfica se pueden medir el azimut, el echado y el deslizamiento.

Es importante saber que no se puede conocer cuál de los dos planos nodales es el plano de falla solo con tener el mecanismo focal. Información adicional, por ejemplo: geológica, geodésica o usando las réplicas del evento principal, es necesaria para distinguir entre el plano de falla y el plano auxiliar.

Existen diversos métodos para encontrar el mecanismo focal de un sismo. El más simple es conocido como “primeros arribos” y se basa en definir la polaridad de la onda P en cada sismograma, partiendo del hecho de que los desplazamientos de onda P se dan en el mismo sentido de los esfuerzos que los producen y que esto se conserva en toda la trayectoria. Lo primero que se hace en este método es definir la polaridad del primer arribo en cada estación, posteriormente se grafican estos puntos de observación en la red estereográfica, usando el azimut de la fuente a la estación y el ángulo de incidencia. Una vez que se han graficado los puntos de observación, se buscan dos planos que separen las dilataciones de las compresiones, estos serán los planos nodales del mecanismo focal.

Otros métodos más sofisticados podrían ser: la búsqueda de mallado (o *grid search*) y la inversión del tensor de momento.

Un uso importante de los mecanismos focales consiste en encontrar la orientación de los esfuerzos principales. La Tierra siempre está bajo esfuerzos de compresión, por lo que, en lugar de hablarse de un esfuerzo de tensión y uno de compresión, solo se habla de máximo y mínimo esfuerzo de compresión, P y T, respectivamente. En experimentos de laboratorio se ha visto que las fallas se forman a 45° de los ejes de esfuerzo, sin embargo, se ha observado que en la Tierra, el deslizamiento típicamente ocurre en fallas preexistentes (Havskov & Ottemöller, 2010).

III.3. Tensor de momento

La fuente sísmica puede ser más complicada que un doble par. La radiación de la mayoría de las fuentes sísmicas puede describirse por medio de nueve pares de fuerzas (Figura III-3). Tres de ellas son dipolos y las otras seis pueden agruparse en tres pares, uno en cada plano coordenado (Havskov & Ottemöller, 2010).

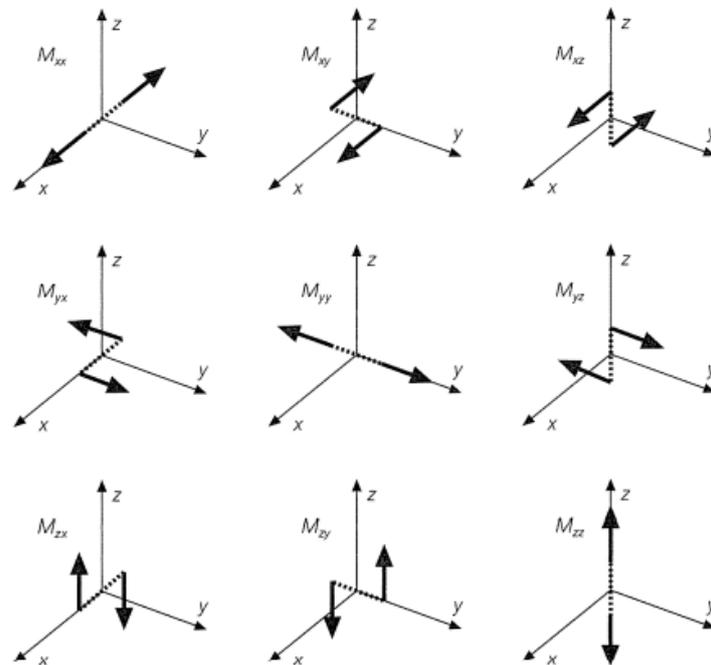


Figura III-3 Nueve pares de fuerzas que conforman las componentes del tensor de momento. Tomada de Stein & Wysession (2003).

El tensor de momento, \mathbf{M} , es una simple representación matemática que da las ondas sísmicas producidas por un complejo proceso de ruptura que implica una variación de los desplazamientos en espacio y tiempo sobre una falla irregular (Stein & Wysession, 2003),

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} M_{xx} & M_{xy} & M_{xz} \\ M_{yz} & M_{yy} & M_{yz} \\ M_{zx} & M_{zy} & M_{zz} \end{bmatrix}. \quad (\text{III.3})$$

El tensor de momento de un sismo representa tanto la geometría de la falla, a través de sus componentes, como el tamaño de esta por medio del momento escalar, M_0 (Stein &

Wysession, 2003). El tensor de momento tiene la propiedad de ser simétrico, es decir, tiene seis componentes independientes, lo que significa que tanto el movimiento en el plano de falla como en el plano auxiliar produce el mismo patrón de radiación.

Como es demostrado en Stein & Wysession (2003), los ejes P, T y nulos son los eigenvectores del tensor de momento. Por lo que se puede simplificar el tensor a través de una transformación a un sistema cuya base sean los eigenvectores. Las componentes cambiarán en magnitud, pero el significado físico seguirá siendo el mismo.

Si la fuente sísmica pudiera describirse solo como un doble par en un sistema de coordenadas cartesianas, cuyas fuerzas tuvieran la dirección de x , separadas en el eje y , el tensor de momento se escribiría como

$$\mathbf{M} = M_0 \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (\text{III.4})$$

donde M_0 es definido como el momento escalar, dado por

$$M_0 = \mu \bar{D} A, \quad (\text{III.5})$$

siendo μ el módulo de cizalla, \bar{D} , el promedio de deslizamiento en la falla y A , el área total de ruptura. El momento escalar es una representación de la magnitud del tensor de momento, y también puede ser calculado como

$$M_0 = \frac{(\sum_{ij} M_{ij}^2)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{2}}. \quad (\text{III.6})$$

En este caso, la fuente puede ser descrita como un doble par puro, lo que implica que la traza del tensor de momento sea cero. Por lo que, no hay un cambio de volumen, como es el caso de una explosión.

Cuando se aplica una transformación de coordenadas, usando una matriz cuyas columnas sean los eigenvectores, se puede pasar de la expresión (III.4) a la siguiente

$$\mathbf{M} = M_0 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (\text{III.7})$$

Así que un sismo puede ser modelado de igual manera como dos pares de cortante o como un par tensional y compresional (Havskov & Ottemöller, 2010).

El punto de la transformación es que la inversión de sismogramas en un sistema de coordenadas geográficas produce el tensor de momento en ese sistema de coordenadas. Así que se determinan sus eigenvectores y por medio de estos, se encuentran el vector

normal y deslizamiento, posteriormente el rumbo y el echado. Los eigenvalores dan el momento sísmico escalar (Stein & Wysession, 2003).

El tensor de momento es una representación general de las fuentes sísmicas, por lo que, cuando se obtiene de datos sísmicos, puede no resultar en un tensor que represente un doble par puro; por el contrario, se puede tener un tensor que sea resultado de la contribución de distintos tipos de eventos. De tal manera que la descomposición del tensor adquiere importancia.

Los elementos de la diagonal del tensor pueden representar tanto un doble par como una explosión, lo que puede ser usado para descomponer el tensor. La parte del tensor que representa dobles pares es conocida como deviatora, mientras que la parte explosiva se conoce como isótropa.

Una de las descomposiciones que se puede hacer parte del hecho de que, al realizar el proceso de inversión, se asume normalmente que la traza del tensor sea cero. Los elementos de tensor de momento resultante comúnmente tienen un valor grande y uno pequeño ($M3$) y se hace una descomposición en dos dobles pares, el doble par mayor y el menor (Havskov & Ottemöller, 2010):

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} M1 & 0 & 0 \\ 0 & M2 & 0 \\ 0 & 0 & M3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M1 & 0 & 0 \\ 0 & -M1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & -M3 & 0 \\ 0 & 0 & M3 \end{pmatrix}. \quad (\text{III.8})$$

Como se observa en la Ecuación (III.8, una fuente que no es de doble par puede descomponerse de tal manera que represente dobles pares.

Otra fuente sísmica que no representa un doble par son los vectores dipolos lineales compensados (*compensated linear vector dipoles*, CLVDs, por sus siglas en inglés.) Estos son un conjunto de tres fuerzas dipolares que se encuentran compensadas porque un dipolo tiene dos veces la magnitud de los otros (Stein & Wysession, 2003)

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} -\lambda & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\lambda}{2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\lambda}{2} \end{bmatrix}. \quad (\text{III.9})$$

La componente isótropa en los CVLDs es cero. Estos también son utilizados en la descomposición del tensor de momento como se verá a continuación.

Ya se mencionó que los elementos de la diagonal pueden representar la parte isótropa (\mathbf{M}^0) y la parte deviatora (\mathbf{M}') del tensor, por lo que, puede ser descompuesto como la suma de estas dos partes,

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}^0 + \mathbf{M}' . \quad (\text{III.10})$$

La parte deviatora ya no tiene la contribución de una fuente explosiva; sin embargo, aún puede estar influenciada por una fuente que no es un doble par. Para quitarle este último efecto se rota \mathbf{M}' de manera que sea una matriz diagonal como en la expresión (III.9) y se vuelve a descomponer como se cita en Shearer (2009), en un mejor ajuste de doble par y en un CVLD,

$$\mathbf{M}' = \begin{bmatrix} M1 & 0 & 0 \\ 0 & M2 & 0 \\ 0 & 0 & M3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2}(M1 - M3) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{2}(M1 - M3) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{-M2}{2} & 0 & 0 \\ 0 & M2 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-M2}{2} \end{bmatrix}, \quad (\text{III.11})$$

$$\mathbf{M}' = \mathbf{M}^{DC} + \mathbf{M}^{CLVD} . \quad (\text{III.12})$$

Por lo que la descomposición final del tensor queda,

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}^0 + \mathbf{M}^{DC} + \mathbf{M}^{CLVD} . \quad (\text{III.13})$$

La descomposición de \mathbf{M}' en \mathbf{M}^{DC} y \mathbf{M}^{CLVD} es única solo porque se ha definido a \mathbf{M}^{DC} como el mejor ajuste de una fuente de doble par, es decir, se minimizó la parte del CVLD (Shearer, 2009).

III.4. Modelado e inversión de formas de onda

Los desplazamientos $u(t)$ son el resultado de la convolución de la fuente $s(t)$, la estructura de la Tierra $e(t)$ y la respuesta del instrumento $i(t)$,

$$u(t) = s(t) * e(t) * i(t). \quad (\text{III.14})$$

Que en el dominio de la frecuencia puede escribirse como una multiplicación de la transformada de Fourier de cada función,

$$U(\omega) = S(\omega)E(\omega)I(\omega). \quad (\text{III.15})$$

Es decir, en superficie se obtiene la respuesta del subsuelo a la perturbación causada por una fuente, a la que se le agregan los efectos de propagación y de la respuesta del instrumento. Es importante entender cada término de la Ecuación (III.14), ya que es la base para el modelado y el proceso de inversión.

Para definir la función de fuente, se puede recurrir a los modelos sencillos de la misma. Algunos de ellos se explican a continuación.

En primer lugar, los desplazamientos en una falla que se desliza de manera instantánea pueden ser descritos por una función escalón; sin embargo, el movimiento, incluso en una fuente puntual, no ocurre de manera instantánea; por lo que, una función rampa puede describir el desplazamiento de manera más aproximada. Así, se puede ver que el deslizamiento comienza en el tiempo cero y termina en un tiempo τ_D , denominado tiempo de subida o *rise time*, que puede definirse como el tiempo que le toma al deslizamiento en un punto alcanzar su valor máximo (Udías & Buforn, 2018). Estas funciones que describen los desplazamientos se conocen como funciones de momento sísmico o *seismic moment function*.

Por otra parte, si nosotros asumimos que cada punto que rompe sobre la falla produce un pulso, el resultado del deslizamiento total si todos los puntos se deslizaran al mismo tiempo, sería otro pulso. No obstante, esto no sucede, porque las primeras ondas que arriban a la estación son resultado del deslizamiento en el punto inicial de ruptura y después arriban ondas que provienen de los puntos que se encuentran a lo largo de la falla (Stein & Wysession, 2003). Por lo tanto, para considerar una función de fuente más realista se considera un tiempo de ruptura τ_R ,

$$\tau_R = \left(\frac{L}{v}\right) \left(\frac{v}{v_R} - \cos \theta\right), \quad (\text{III.16})$$

que depende de la longitud de la falla L , la velocidad de la onda v , la velocidad de ruptura v_R y el azimut del punto inicial de ruptura a la estación θ .

Como se demuestra en Lay & Wallace (1995), la forma del pulso de los desplazamientos en el campo lejano involucra la convolución de dos funciones caja: una con un ancho τ_D y otra con un ancho τ_R ,

$$u(t) = M_0(B(t; \tau_D) * B(t; \tau_R)). \quad (\text{III.17})$$

La primera representa la historia de desplazamiento de una sola partícula y la segunda, los efectos de falla finita (Lay & Wallace, 1995). El resultado de la convolución es un trapecoide (Figura III-4), conocido como el modelo de falla de Haskell. El área bajo este pulso es equivalente al momento sísmico escalar.

Es importante mencionar que el tiempo de ruptura depende de la posición del receptor respecto a la falla, por lo que sufre un efecto de directividad. En la dirección de ruptura,

el pulso tiene una menor duración y una mayor amplitud; en cambio, en la dirección opuesta a la ruptura, la duración aumenta y la amplitud disminuye (Figura III-5). En ambos casos el momento sísmico se conserva.

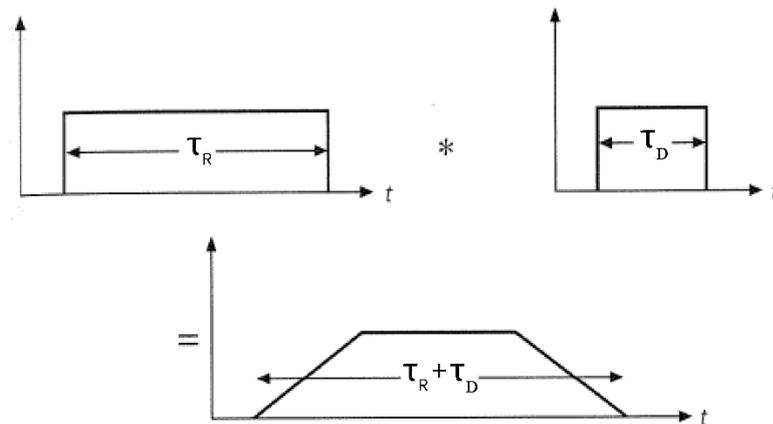


Figura III-4 En la parte superior se muestran dos funciones caja con un ancho igual que el tiempo de ruptura (izquierda) y que el tiempo de subida (derecha). La convolución de las funciones da como resultado una función de fuente trapezoidal (abajo). Tomada de Stein & Wysession (2003).

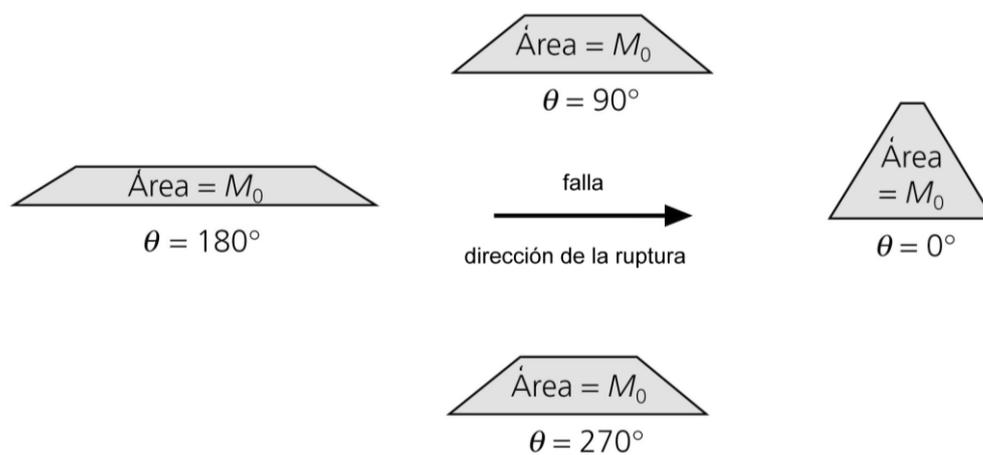


Figura III-5. Efectos de directividad en la ruptura. Tomada de Stein & Wysession, 2003.

La función equivalente en el dominio de la frecuencia al modelo de Haskell se conoce como el espectro de fuente,

$$U(\omega) = \begin{cases} M_0 & \omega < \frac{2}{\tau_R} \\ \frac{M_0}{\frac{\omega\tau_R}{2}} & \frac{2}{\tau_R} < \omega < \frac{2}{\tau_D} \\ \frac{M_0}{\omega^2 \left(\frac{\tau_D\tau_R}{4}\right)} & \omega > \frac{2}{\tau_D} \end{cases} \quad (\text{III.18})$$

y que se observa en la Figura III-6 .

La función que representa la estructura de la Tierra se puede definir a través de las funciones de Green $G(t)$, que describen los desplazamientos en un punto x que resultan de aplicar una función de fuerza unitaria en un punto x_0 (Shearer, 2009).

La fuente no es una fuerza, por lo tanto, debe considerarse lo siguiente: las funciones de Green deben ser ponderadas por medio de las componentes de tensor de momento (Stein & Wysession, 2003),

$$e(t) = \sum_{j=1}^6 G_{ij}(t)m_j, \quad (\text{III.19})$$

en donde m_j es el vector de las componentes independientes del tensor de momento. Al sustituir la ecuación (III.19) en (III.14) obtenemos

$$u(t) = s(t) * i(t) * \sum_{j=1}^6 G_{ij}(t)m_j. \quad (\text{III.20})$$

El modelado de sismogramas puede definirse como un proceso iterativo, en el cual se minimizan las diferencias entre sintéticos y observados por medio de ajustar el modelo de estructura o representación de la fuente (Lay & Wallace, 1995).

De manera simple, en este proceso se puede proponer un modelo inicial para la función de fuente y calcularse las funciones de Green, obtenerse los sismogramas sintéticos y compararlos con los observados a través del cálculo del error. Si se realiza la convolución entre la función de fuente, la respuesta instrumental y las funciones de Green, la ecuación (III.20), puede ser vista como una ecuación matricial, donde ahora en \mathbf{G} se encuentran los efectos de la fuente y del instrumento,

$$\mathbf{u} = \mathbf{Gm}, \quad (\text{III.21})$$

Podemos ver de la expresión (III.21) que existe una relación lineal entre los elementos del tensor de momento que describen la fuente sísmica, y la respuesta que se obtiene en superficie; por esa razón se puede realizar la inversión del tensor de momento a partir de

esa ecuación. Dicha expresión representa la mayoría de las veces un sistema sobredeterminado, es decir, se tiene un gran número de observaciones con respecto al número de variables a determinar. El problema puede resolverse usando el método de mínimos cuadrados,

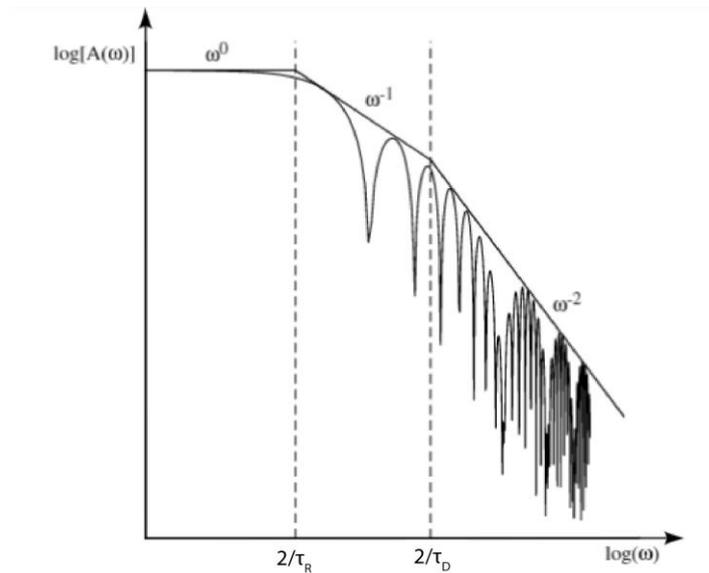


Figura III-6 Espectro de fuente del modelo de falla de Haskell. Tomada de Shearer, 2009.

$$\mathbf{m} = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{u}. \quad (\text{III.22})$$

En (Havskov & Ottemöller, 2010) se resumen los pasos principales para la inversión del tensor de momento:

1. Remover tendencia y media y aplicar un taper.
2. Quitar la respuesta instrumental y calcular los sismogramas (velocidad o desplazamiento) en el rango de frecuencias del sensor. Un filtro pasa-altas es usado con la finalidad de obtener una estabilidad en bajas frecuencias.
3. Aplicar un filtro pasa-banda, dependiendo de la magnitud. Este mismo debe ser aplicado a los datos sintéticos. Esto es útil para limitar la señal al rango de frecuencia de utilidad.
4. Decimar los datos.
5. Cortar los datos a la ventana de tiempo que contiene la señal de interés.
6. Rotar los sismogramas horizontales a componentes radial y transversal.
7. Configurar los parámetros de entrada.

8. Calcular las funciones de Green.
9. Alinear los sismogramas observados con las funciones de Green calculadas.
10. Realizar el proceso de inversión a través del método de mínimos cuadrados.

Cabe señalar, que se puede trabajar con el sismograma completo o con alguna parte de este. Por otro lado, existen algunas pequeñas diferencias dependiendo si se trabaja con datos locales, regionales o globales. Entre ellas se encuentran: 1) el modelo de velocidades para calcular las funciones de Green, que en el caso de distancias globales puede ser más sencillo y 2) el rango de frecuencia que se utiliza, que es un rango más grande para estudios globales.

IV. Fase W

Kanamori (1993) observó por primera vez la fase W después del sismo de Nicaragua de 1992. La fase W es de largo periodo, 100 a 1000 s; su velocidad de grupo es de 4.5 a 9 km/s, por lo tanto, arriba antes de la onda S (Figura IV-1).

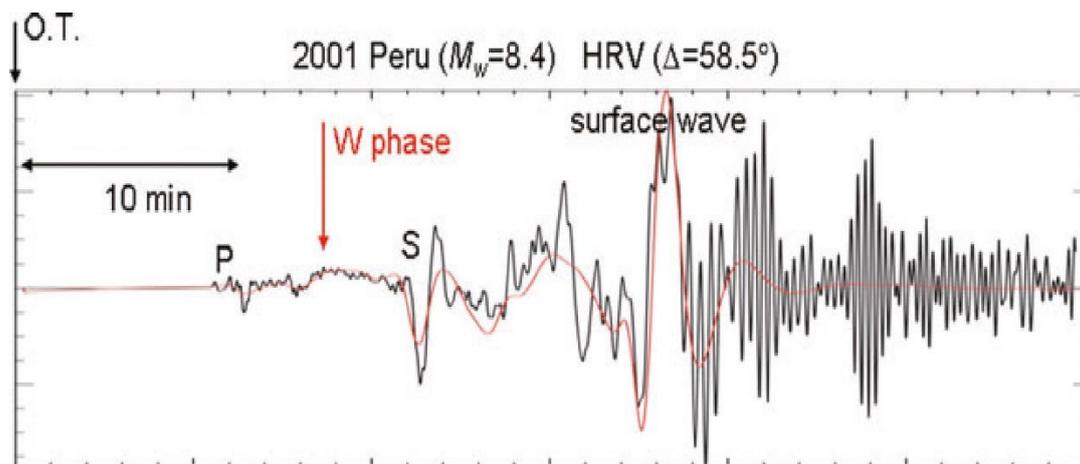


Figura IV-1 Posición de la fase W observada (negro) y la fase W sintética (rojo) calculada por medio de la suma de modos normales. Figura tomada de Kanamori & Rivera (2008).

De los 100 a los 1000 s, una gran fracción de la energía asociada a la fase W viaja a través del manto, donde las variaciones laterales son pequeñas, por lo que, no se ve afectada por variaciones en la estructura (Kanamori & Rivera, 2008).

El nombre no tiene que ver con la forma de la fase, que puede ser interpretada desde puntos de vista diferentes:

1. Como una representación del campo lejano y cercano de la fuente.
2. Como una superposición de energía de largo periodo asociada a las fases P, PP, SP y S.
3. Como la superposición del primer, segundo y tercer sobretono de los modos esferoidales de ondas Rayleigh.

Este último punto es útil en cuestiones de inversión de la fase W, ya que el problema directo puede resolverse a partir del cálculo de los desplazamientos al hacer una suma de modos normales.

La variación de la fase W respecto a la distancia entre la fuente y el receptor se hace más evidente para distancias menores de 50° . En cuanto a la profundidad, las diferencias en

la forma de la fase W son considerables; sin embargo, puede ser identificada fácilmente en sismos someros o profundos (Kanamori, 1993).

Como se sabe, las distintas fases que constituyen al sismograma pueden dar información acerca de la fuente sísmica y la fase W no es la excepción. Por sus características esta fase es útil para caracterizar eventos sísmicos de manera rápida, aproximadamente dentro de los primeros 20 minutos después del tiempo origen, que es menor a los 20-30 minutos que toma una inversión con ondas de cuerpo o los 50 a 60 minutos que requiere la inversión con ondas superficiales. En ambos casos el tiempo puede aumentar por la información requerida (Hayes et al., 2009).

La fase W puede ser utilizada eficazmente para el sistema de alerta de tsunami, ya que arriba a tiempo para ser un diagnóstico del potencial de tsunami del sismo (Kanamori, 1993). Al principio, la fase W se pensó que fuera usada para caracterizar grandes sismos de $M_w \geq 7.0$; sin embargo, al paso de los años se ha demostrado que también es válida para eventos de menor magnitud, ~ 5.8 (Hayes et al., 2009).

IV.1. Inversión de la fase W

Para desarrollar una metodología que permitiera caracterizar eventos sísmicos de manera rápida y en tiempo real, Kanamori y Rivera (2008) desarrollaron un método de inversión de la fase W, empleado en el dominio del tiempo.

El primer paso hacia la inversión es preparar las formas de onda observadas. Para esto, se aplica un filtro en el dominio del tiempo, dato por dato conforme estos están disponibles, con la finalidad de eliminar la respuesta instrumental. El resultado son las series de aceleración. Para separar la señal de interés de lo que no lo es, se aplica un filtro pasa banda Butterworth de cuarto orden, cuyas frecuencias de corte dependen de la magnitud del evento. Después, se integran los registros dos veces para pasar de aceleración a desplazamiento y finalmente se recortan ventanas cuya duración sea a partir del arribo de la onda P más 15Δ , en donde Δ es la distancia epicentral, en grados.

Para obtener la fase W sintética lo primero que se hace es calcular las funciones de Green para un tensor de momento unitario, utilizando la suma de modos normales. La función

de fuente se asume como una función triangular definida por la duración media o *half duration*, h_c , y el tiempo de corrimiento del centroide o *centroid delay*, τ_c . La función de fuente y las funciones de Green se convolucionan y posteriormente se filtran en la misma banda de frecuencia que se aplicó a los datos observados (Kanamori & Rivera, 2008). Finalmente se concatenan de menor a mayor distancia epicentral (Figura IV-2).

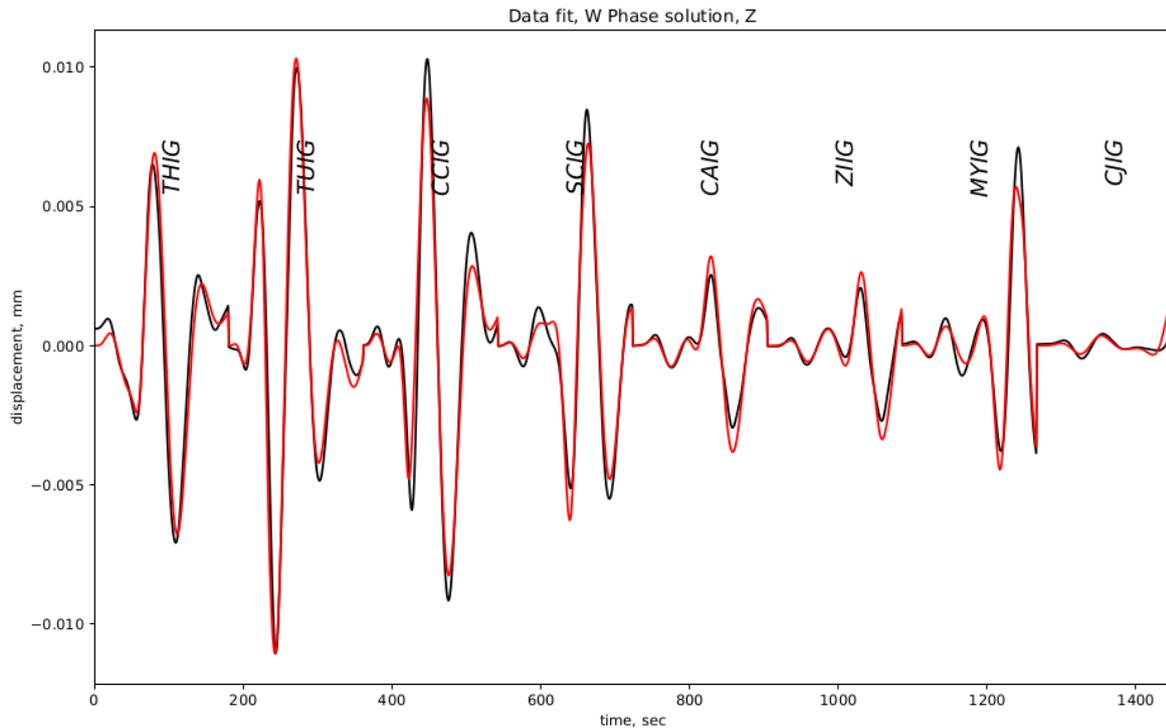


Figura IV-2 Fases W del evento del 21 de enero de 2019, ordenadas de menor a mayor distancia epicentral. En color negro se muestran las fases observadas y en rojo las fases W sintéticas calculadas con el programa de inversión fase W.

La fuente puntual varía con el tiempo. Si se conoce la historia de tiempo de la fuente y la localización del centroide, la inversión es lineal con respecto al tensor de momento y puede verse como

$$\begin{bmatrix} u_{\omega 1}^{1,1} & u_{\omega 1}^{2,2} & \dots & u_{\omega 1}^{2,3} \\ u_{\omega 2}^{1,1} & u_{\omega 2}^{2,2} & \dots & u_{\omega 2}^{2,3} \\ u_{\omega 3}^{1,1} & u_{\omega 3}^{2,2} & \dots & u_{\omega 3}^{2,3} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ u_{\omega N}^{1,1} & u_{\omega N}^{2,2} & \dots & u_{\omega N}^{2,3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{11} \\ M_{22} \\ M_{33} \\ M_{12} \\ M_{13} \\ M_{23} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{\omega 1} \\ u_{\omega 2} \\ u_{\omega 3} \\ \vdots \\ u_{\omega N} \end{bmatrix}, \quad (\text{IV.1})$$

donde el vector \mathbf{M} representa las componentes del tensor de momento, $u_{\omega i}^{kl}$ es el desplazamiento calculado en la estación i para un tensor de momento unitario y $u_{\omega i}$ es la fase W observada en la estación i (Kanamori & Rivera, 2008). El sistema puede resolverse por el método de mínimos cuadrados.

El programa de inversión, fase W, fue desarrollado principalmente por Zacharie Duputel, Luis Rivera y Hiroo Kanamori.

Duputel & Rivera (2012) desarrollaron el algoritmo de fase W extrapolando la metodología para invertir las tres componentes del movimiento, además de validar su utilidad para sismos de magnitud moderada.

La inversión de acuerdo con Duputel et al. (2012) puede ser vista en tres niveles: el primero, cuyo objetivo es calcular una magnitud preliminar; el segundo, donde se hace una primera inversión utilizando información preliminar; la tercera, en donde se busca la solución óptima.

La finalidad de la inversión es obtener las seis componentes del tensor de momento y la localización óptima del centroide. Como se explica en Duputel et al. (2012), el tensor de momento puede representarse como un vector $\mathbf{f} = [M_{rr}, M_{\theta\theta}, M_{\phi\phi}, M_{r\theta}, M_{r\phi}, M_{\theta\phi}]$ y las coordenadas del centroide $\boldsymbol{\eta}_c = [\theta_c, \phi_c, r_c, \tau_c]$, donde θ_c es la latitud, ϕ_c , la longitud, r_c es el radio y τ_c es el tiempo del centroide. El centroide puede ser estimado buscando la localización del centroide que minimice una función de ajuste entre el vector de datos d_ω y el vector de datos sintéticos s_ω ,

$$\chi(\mathbf{m}) = \frac{1}{2}(s_\omega(\mathbf{m}) - d_\omega)(s_\omega(\mathbf{m}) - d_\omega), \quad (\text{IV.2})$$

en donde \mathbf{m} es un vector definido por el vector \mathbf{f} y $\boldsymbol{\eta}_c$.

Para el cálculo de los sismogramas sintéticos, se utilizan las funciones de Green que han sido calculadas previamente para rangos de distancia epicentral que varían de 0° a 90° con intervalos de 0.1° y profundidades con valores entre 0 y 760 km, usando el modelo PREM (Duputel et al., 2012).

En el primer nivel de la inversión, con los datos ya corregidos por respuesta instrumental, filtrados y sin valores extremos o *outliers*, se procede a hacer un ajuste de amplitudes de la fase W de acuerdo con la distancia y el azimut, utilizando solo la componente vertical. Lo que se hace básicamente es medir la amplitud pico a pico en cada estación, luego se reducen las amplitudes a una distancia epicentral de 40° y se igualan a un patrón de radiación, en este caso de dos lóbulos que corresponde a una falla normal o inversa. Esto último porque uno de los principales objetivos de la fase W es caracterizar sismos tsunamigénicos (Duputel et al., 2012). La ecuación que describe lo anterior es

$$p_j = q(\Delta_j)[a - b\cos^2(\phi_j - \phi_0)], \quad (\text{IV.3})$$

en donde p_j representa la amplitud en la estación j , $q(\Delta_j)$ es el termino de decaimiento de amplitud de fase W , y el resto de la ecuación representa el patrón de radiación.

La ecuación puede resolverse por mínimos cuadrados para encontrar la amplitud promedio dada por

$$a - \frac{b}{2},$$

que se puede usar directamente para medir el momento sísmico. El cálculo de la magnitud en este nivel es independiente de los detalles del modelado.

En el segundo nivel se realiza una primera inversión, utilizando como localización del centroide los datos preliminares del evento sísmico. Si la inversión es hecha en tiempo real, para una primera corrida, la duración media se estima como

$$h_c = 1.2 \times 10^{-8} \times M_0^{\frac{1}{3}}, \quad (\text{IV.4})$$

donde el valor del momento sísmico se obtiene del nivel anterior.

El tiempo de retraso τ_c , entre el tiempo de origen y el tiempo del centroide, se determina haciendo una búsqueda de mallado, haciendo varias inversiones del tensor de momento para distintos valores. Esto se hace porque τ_c es un valor que si tiene grandes variaciones causaría grandes desajustes en las formas de onda (Kanamori & Rivera, 2008).

Al contrario que τ_c , la duración de la fuente es pobremente restringida por las formas de onda. Por lo tanto, se usa la siguiente suposición: $h_c = \tau_c$. Teniendo estos parámetros en cuenta, se realizan las tres inversiones en las que el nivel máximo del error (ρ_{\max}) 3.0, 2.0 y 1.0, se hace cada vez más pequeño (Duputel et al., 2012). El valor del error cuadrático medio se calcula como:

$$\rho_i = \frac{\|s_{\omega}^i - d_{\omega}^i\|^2}{\|s_{\omega}\|^2}, \quad (\text{IV.5})$$

donde, como se mencionó anteriormente, d_{ω} es el vector de datos y s_{ω} es el vector de datos sintéticos. Las estaciones en donde $\rho_i > \rho_{\max}$ son eliminadas.

Para el tercer nivel de inversión, el objetivo es encontrar la localización óptima del centroide usando una búsqueda de mallado en 3-D que incluye: la latitud, longitud y profundidad.

Las dimensiones típicas de la malla son $2.4^\circ \times 2.4^\circ \times 100$ km. El intervalo del mallado en profundidad varía respecto a la profundidad del centroide:

$$\begin{aligned}\Delta h &= 2 \text{ km para } h < 25.5, \\ \Delta h &= 5 \text{ km para } 25.5 \leq h \leq 50.5, \\ \Delta h &= 10 \text{ km para } h > 50.5.\end{aligned}$$

IV.1.1. Sismos de $M_w \geq 5.5$ en México del año 2010 a 2019

En este trabajo, lo que se pretende es caracterizar, usando la solución revisada de la inversión de fase W, los eventos de $M_w \geq 5.5$ que se localizaron en el territorio mexicano del año 2010 a 2019. El total de sismos con las características anteriores es de 137, el número de eventos por magnitud puede observarse en la Tabla IV-1.

Tabla IV-1 número de eventos por magnitud, que ocurrieron en México de 2010 a 2019. En total suman 137 de $5.5 \leq M_w$.

Magnitud	Número de eventos
$5.5 \leq M_w < 6.0$	86
$6.0 \leq M_w < 6.5$	32
$6.5 \leq M_w < 7.0$	12
$7.0 \leq M_w < 7.5$	5
$7.5 \leq M_w < 8.0$	1
$8.0 \leq M_w$	1
TOTAL	137

El programa que se utilizó para la inversión, fase W, requiere como entrada lo siguiente:

1. La carpeta DATA_org, que contienen las formas de onda de cada evento y las respuestas instrumentales.
2. El archivo i_MASTER.
3. El archivo CMT_solution.

En este caso, los registros fueron obtenidos de la Red de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional (SSN). La estructura del archivo i_master puede observarse en la Figura IV-3, este archivo contiene principalmente los parámetros usados en la

deconvolución y el filtrado de la señal. Las frecuencias de corte del filtro Butterworth fueron tomadas de acuerdo con la magnitud del evento y los valores se muestran en la Tabla IV-2. La estructura del archivo CMT_solution se muestra en la Figura IV-4, los parámetros que se colocan en este archivo son propios de cada evento y para este trabajo fueron obtenidos como se indica a continuación:

1. Del catálogo de SSN (SSN, 2021): fecha, hora, magnitud, latitud, longitud y profundidad.
2. Del catálogo del Global Centroid Moment Tensor (GCMT, <https://www.globalcmt.org>; Ekström et al., 2012 ; Dziewonski et al., 1981) tiempo de corrimiento del centroide, duración media y componentes del tensor de momento.

Para obtener la mejor solución se hicieron varias inversiones; en cada una se eliminaron aquellas estaciones en las que las fases *W* sintéticas mostraban diferencias importantes respecto a las fases *W* observadas. Esto se hizo tanto para la componente vertical como las componentes horizontales.

Tabla IV-2 Frecuencias de corte que definen el filtro Butterworth pasabanda (1 paso, 4.º orden) usado en la inversión de fase *W*, basado en la magnitud inicial estimada. Tomada de Hayes et al. (2009).

Rango de Magnitud (M_w)	Frecuencia de corte inferior <i>Hz (s)</i>	Frecuencia de corte superior <i>Hz (s)</i>
$M_w > 8.0$	0.001 (1000)	0.005 (200)
$8.0 > M_w \geq 7.5$	0.00167 (600)	0.005 (200)
$7.5 > M_w \geq 7.0$	0.00167 (600)	0.01 (100)
$7.0 > M_w \geq 6.5$	0.002 (500)	0.01 (100)
$6.5 \geq M_w$	0.0067 (150)	0.02 (50)

```

EVNAME: 20180217036
SEED: NO_HAY
DMIN: 1
DMAX: 28.5
CMTFILE: CMTSOLUTION
filt_order: 4
filt_cf1 : 0.00670
filt_cf2 : 0.020
filt_pass : 1
IDEC_2: 2 290 0.1
IDEC_3: 0.001 0.1 100 0.01
WP_WIN: 0. 15. 12.
P2P_SCREENING: YES
RMS_SCREENING: 5. 3. .9

```

Figura IV-3 Ejemplo del archivo `i_master` del evento del 17 de febrero de 2018. Contiene el nombre del evento, la distancia mínima y máxima epicentral, los datos del filtro Butterworth, los parámetros que definen la ventana usada en la preparación de los datos.

```

PDE 2018 2 17 0 36 51.00 15.8438 -97.9887 24.3 0.0 5.9 OAX,MEX
event name: 20180217036A
time shift: 4.9000
half duration: 2.3000
latitude: 15.8438
longitude: -97.9887
depth: 24.3000
Mrr: 0.610000e+25
Mtt: -0.560000e+25
Mpp: -0.060000e+25
Mrt: 0.890000e+25
Mrp: -0.080000e+25
Mtp: 0.050000e+25

```

Figura IV-4 Ejemplo del archivo `CMT_solution` del evento del 17 de febrero de 2018. Contiene la información preliminar del evento, que fue tomada del SSN y de GCMT.

V. Resultados

De los 137 eventos que se revisaron (Figura V-1 y Anexo A), 123 de ellos tuvieron una solución con fase W y 14 de ellos no pudieron ser caracterizados con esta metodología por dos principales razones: 1) baja relación señal ruido, y 2) por el valor del tiempo de corrimiento del centroide usados para la solución revisada. Los eventos que presentaron este segundo problema tienen la característica de tener una $M_w < 6.0$ y tener un tiempo de corrimiento del centroide menor a 0.5, en algunos casos es incluso, un valor negativo.

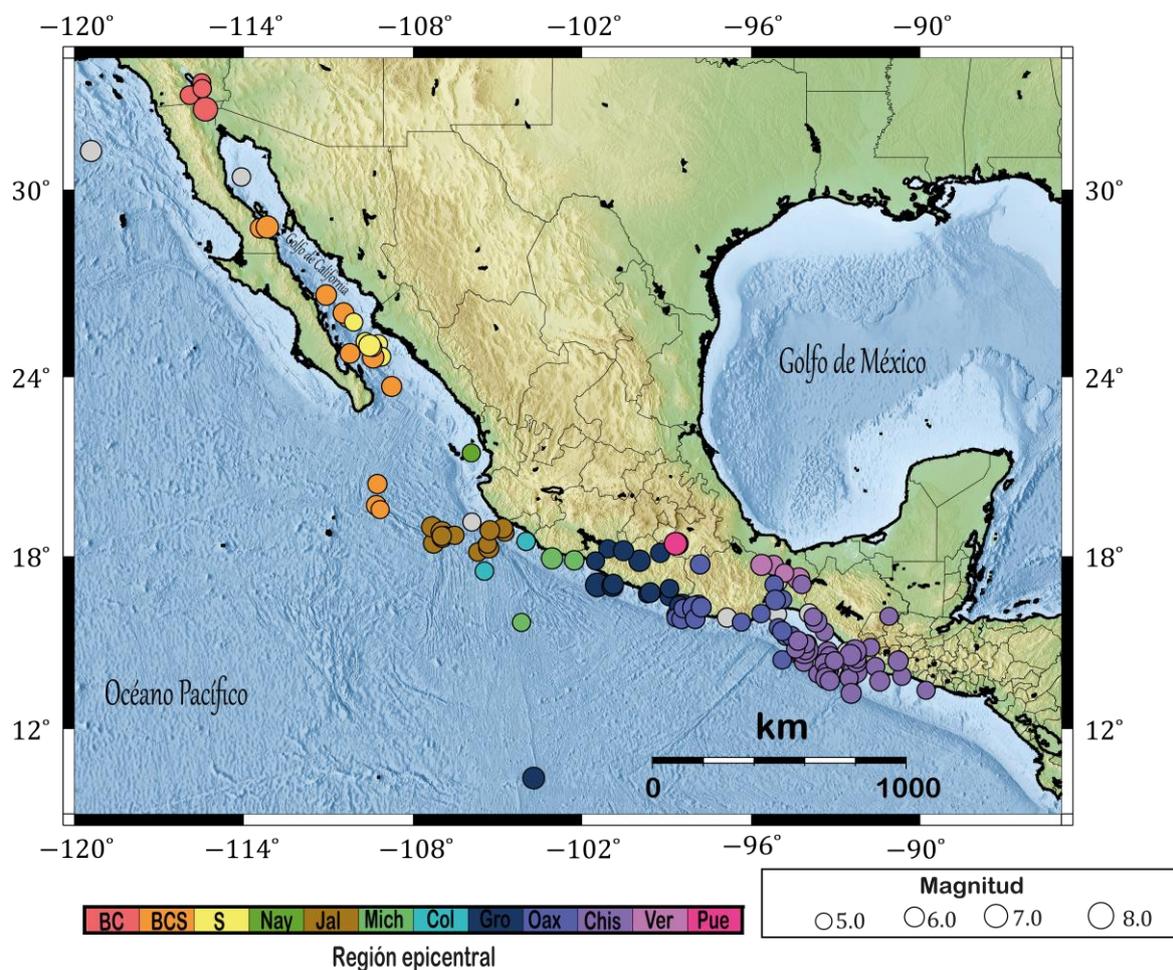


Figura V-1 Ubicación de los 137 eventos en México de $M_w \geq 5.5$ que ocurrieron de 2010 a 2019. El color está dado de acuerdo con la región epicentral: Baja California (BC), Baja California Sur (BCS), Sinaloa (S), Nayarit (Nay), Jalisco (Jal), Michoacán (Mich), Colima (Col), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Chiapas (Chis), Veracruz (Ver) y Puebla (Pue). Los círculos en color gris representan aquellos sismos sin solución de fase W. El tamaño de los círculos representa la magnitud del sismo.

Con la finalidad de poder identificar si existe una incertidumbre en las soluciones revisadas de fase W que se obtuvieron, se hace una comparación con: 1) la solución rápida de fase W que reporta el SSN unos minutos después de haber ocurrido el sismo, 2) la solución obtenida por la agencia GCMT y 3) la que se reporta en el catálogo del USGS.

V.1. Mecanismos focales

En primer lugar, se comparan los mecanismos focales que pueden observarse en la Figura V-2. Para eventos que ocurrieron antes del año 2014, la solución rápida de fase W no había sido implementada en el SSN, por lo que, no se puede contraponer con la solución revisada.

Cada evento puede distinguirse a través de su localización y fecha de ocurrencia. Para facilitar el análisis, los dividiremos tomando en cuenta el estado de la República Mexicana al que pertenece la localidad más cercana al epicentro, de acuerdo con lo que reporta el SSN. Los estados de los sismos que se analizan en este trabajo son: Baja California, Baja California Sur, Sinaloa, Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Puebla y Veracruz.

Al revisar los resultados de los mecanismos focales podemos ver que las mayores diferencias se presentan cuando para la solución revisada de fase W se han tomado pocos canales y estaciones, cuando el gap azimutal es mayor de 300° o ambos factores. Esta es una observación que también puede hacerse para la solución rápida de fase W.

Si se toma como referencia los mecanismos focales reportados por el USGS y GCMT podemos distinguir tres casos. El primero, eventos en donde las diferencias entre el mecanismo focal de la solución rápida y la revisada son imperceptibles. Por ejemplo, el evento del 8 de mayo de 2014, para el cual las cuatro soluciones tienen un mecanismo de tipo inverso, con una diferencia promedio entre el rumbo, echado y deslizamiento de 16.63° , 9.1° , 12.67° , respectivamente para un plano nodal y para el otro las diferencias promedio son de 6.26° , 8.23° , 5.73° . El segundo, la revisión parece modificar de forma importante el mecanismo focal haciendo que haya mayor similitud al reportado por USGS y GCMT; un ejemplo, el sismo del 28 de junio de 2015, para el cual el mecanismo focal de

la solución rápida parece ser casi vertical pues el echado del plano nodal que tiene dirección NE-SW es casi 0° ; sin embargo, con la revisión, el echado de ese plano resulta ser de 51° . Por último, el caso de aquellos eventos en los que el mecanismo focal de la solución rápida parece tener mayor semejanza que el de la solución revisada; este es el que menos ocurre y parece ser consistente para los sismos de corrimiento lateral que son ubicados en el océano Pacífico, en las cercanías de Jalisco.

Los eventos en el océano Pacífico, cercanos a Jalisco que tienen un mecanismo focal de rumbo presentan una variación en el echado de los planos nodales, si lo comparamos con las otras tres soluciones. No se observa una variación considerable en el rumbo de los planos.



Figura V-2 Comparación de mecanismos focales. En color amarillo se muestra la solución rápida de fase W que obtiene el SSN, en azul, la solución revisada (obtenida en este trabajo) de fase W, en verde, la que reporta el USGS y en rojo, la solución de GCMT. Debajo de cada mecanismo focal se puede ver la magnitud del evento. Los parámetros γ , E , C son los que se obtienen de la solución de fase W, representan el valor del gap azimutal, número de estaciones y número de canales, respectivamente. Se añade el subíndice r para representar los parámetros de la solución rápida y poder distinguirlos de la solución revisada.

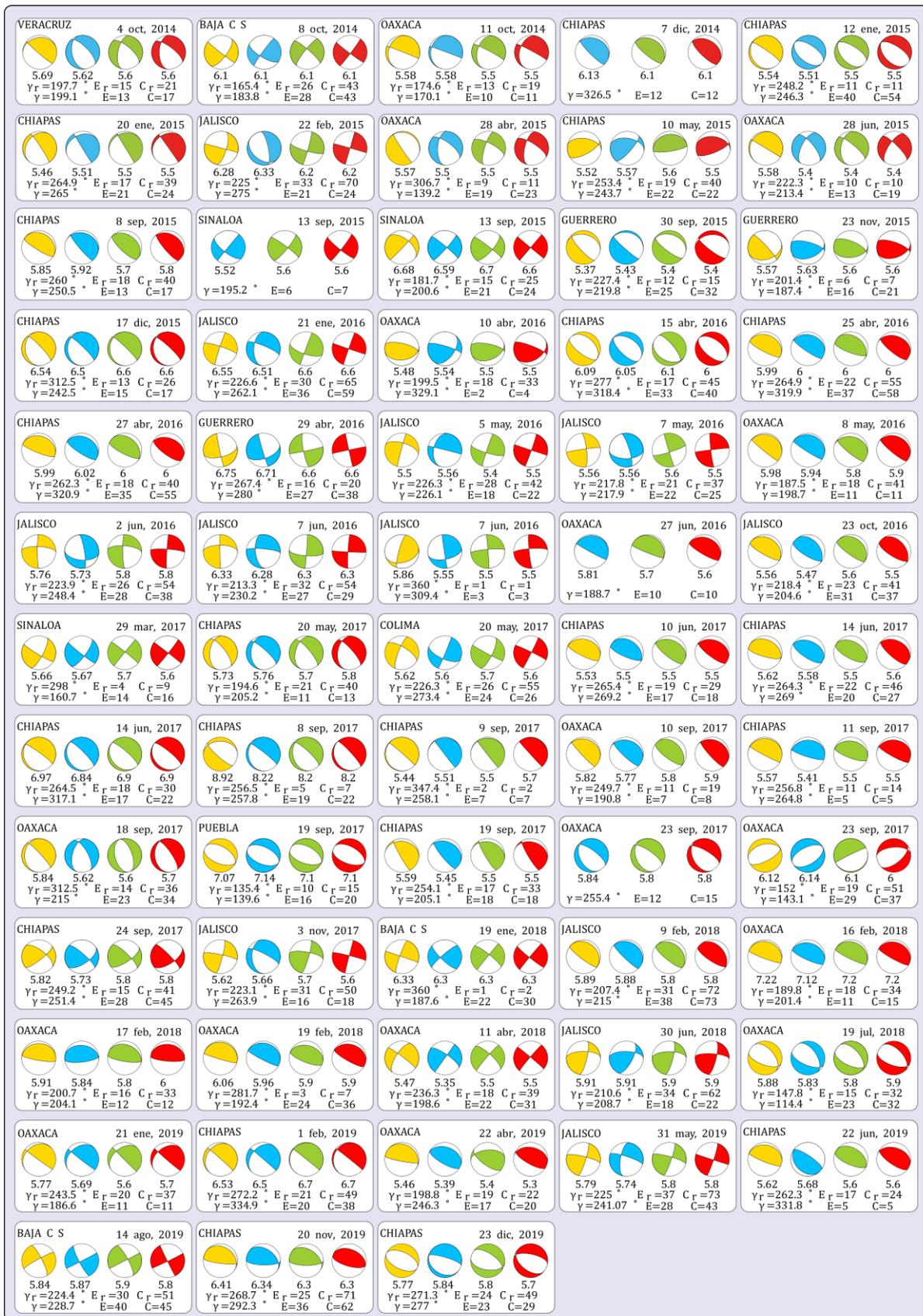


Figura V-2 Continuación

V.2. Localización, gap azimutal y número de estaciones

A pesar de que en la Figura V-2 se puede ver la magnitud del evento, reportada por las agencias y la obtenida en este trabajo, además del GAP azimutal, número de canales y estaciones que arrojan las soluciones con fase W, es conveniente realizar un análisis por separado donde se examinen estos parámetros.

Para poder detectar si existe alguna relación entre la localización del sismo, el GAP y el número de estaciones que resulta de cada solución revisada de fase W, se muestra la Figura V-3 .

Como se observa, la mayoría de los eventos de $M_w \geq 5.5$ se localizan en las costas del Pacífico mexicano y en el Golfo de California. Para los sismos que se localizan cerca de Baja California, el número de estaciones en la mayoría de los casos es menor de 10, excepto para el evento del 4 de abril de 2010 que tuvo una M_w de 7.23, el más grande de todos los sismos localizados en esta zona de 2010 a 2019. El valor del gap azimutal en esta zona es mayor de 250° , en la mayoría de los casos incluso mayor de 300° .

Conforme nos movemos al sur, para eventos que se reportan cercanos a Baja California Sur y Sinaloa el número de estaciones usadas en la inversión incrementa, se usan de 10 a 22 estaciones. Para aquellos sismos ubicados más al sur, que ocurrieron el 1 de noviembre de 2011 (M_w 6.3) y el 9 de agosto de 2012 (M_w 5.6), el número de estaciones es menor que 10. La solución con fase W para el sismo, ubicado ligeramente al norte de los dos anteriores, que tuvo lugar el 14 de agosto de 2019 (M_w 5.8), usó 40 estaciones. El valor del gap en esta región también disminuye, encontrándose entre los 150 y 250° . El único evento con un gap de más de 250° es el del 1 de noviembre de 2011 (M_w 6.2).

La solución para el único evento que se reporta en el océano Pacífico más cercano a Nayarit (evento identificado como Nay Figura V-3), con fecha del 14 de agosto de 2013 (M_w 5.6), usó menos de cuatro estaciones y el gap fue de 221.8° . En la Figura V-2, también se observa que el mecanismo focal con fase W arroja que la falla para este sismo es inversa, no obstante, los planos nodales tienen rumbos y echados notablemente diferentes a la solución de USGS y GCMT.

Para los eventos con epicentro en el océano Pacífico, próximos a Jalisco (zona Jal, Figura V-3) la mayoría de las soluciones usaron más de 10 estaciones. El gap azimutal siempre es mayor de 200° . Sin embargo, los sismos más cercanos a la costa son los que tienen el menor valor del gap azimutal. Se pueden distinguir principalmente tres eventos: 23 de octubre de 2016 (M_w 5.6), 9 de febrero de 2018 (M_w 5.9) y 30 de junio de 2018 (M_w 5.9). Los dos primeros son los únicos eventos de tipo inverso de la zona, cuyo mecanismo focal es casi idéntico en las cuatro soluciones comparadas; el tercer evento, aunque el mecanismo focal tiene una componente de rumbo es muy similar en los cuatro casos.

En el caso de los eventos con localización en Colima y Michoacán (zona Col y Mich, Figura V-3), el número de estaciones usadas por fase W varía entre 10 y 28; el valor del gap azimutal va de 200 a 300° . En estas dos zonas, dado que el número de sismos reportados de $M_w \geq 5.5$ es bajo, podemos advertir que los eventos cercanos a la costa tienen un gap azimutal menor que aquellos que están alejados.

Los eventos con epicentro más cercano a Guerrero y Oaxaca (zona Gro y Oax, Figura V-3) parecen tener características muy parecidas en cuanto a sus soluciones con fase W. El número de estaciones que se utilizan para la inversión en estas zonas oscila entre 10 y 28. En cuanto al gap azimutal, son los eventos de Guerrero, los que presentan en la mayoría de los casos un valor menor de 200° . En el caso de los eventos de Oaxaca el gap azimutal aumenta, aunque, el cambio no es considerable; en esta zona la mayoría de los eventos tiene un gap azimutal de alrededor de 200° . Además, en comparación a Guerrero, en Oaxaca sí se tienen sismos con un gap azimutal mayor que 300° , cuyo número de estaciones también es menor que 5.

Los sismos que podemos identificar en el océano Pacífico más cercanos a Chiapas (zona Chis, Figura V-3) son los que tuvieron mayor ocurrencia de 2010 a 2019. El gap azimutal, en gran parte de los eventos, es mayor de los 250° , incluso son varios los sismos con un gap azimutal mayor que 300° . Pero, también son sismos que, en la mayoría de los casos, su solución con fase W utiliza más de 10 estaciones, asimismo es la región donde una mayor cantidad de eventos tiene más de 34 estaciones.

La solución con fase W para aquellos sismos que se localizan dentro del continente, emplea como en casos anteriores, de 10 a 20 estaciones, pero, son los casos en los que se dan los valores del gap azimutal más pequeños. Esto es claramente visible en los eventos

que se ubican cerca de Veracruz y Puebla (zona Ver y evento identificado como Pue, Figura V-3).

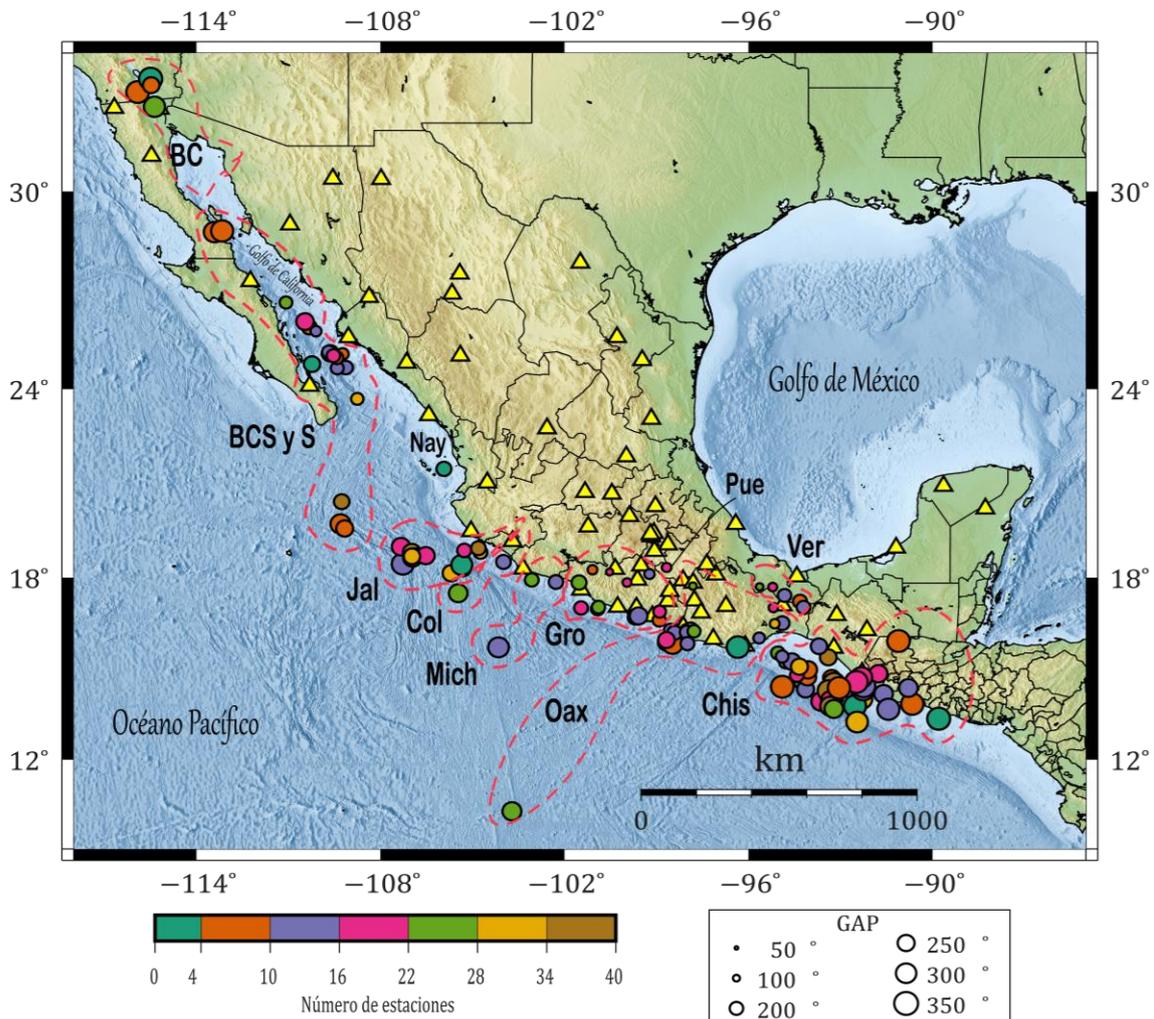


Figura V-3 Los círculos muestran la localización de los sismos de $M_w \geq 5.5$ que ocurrieron de 2010 a 2019 y cuya solución revisada de fase W pudo obtenerse. Las estaciones que conforman la red de banda ancha del SSN se muestran en triángulos amarillos. El color y el tamaño de los círculos están dados con base en el número de estaciones y el valor del gap azimutal, respectivamente. Las zonas delimitadas por líneas punteadas de color rojo encierran los eventos de acuerdo con el estado al que se encuentran más próximos: Baja California (BC), Baja California Sur y Sinaloa (BCS y S), Jalisco (Jal), Colima (Col), Michoacán (Mich), Guerrero (Gro), Oaxaca (Oax), Chiapas (Chis), Veracruz (Ver), Nayarit (Nay) y Puebla (Pue). En estos dos últimos estados solo hay un evento.

V.3. Magnitud

Los siguientes resultados se enfocan en una comparación de magnitudes entre la solución revisada de fase W con la solución: 1) rápida de fase W, 2) la reportada por el USGS y 3) por el GCMT. Esto se observa en la Figura V-4.

En las tres comparaciones, casi todos los eventos se alinean a una recta de 45°, lo que implica que la magnitud de la solución revisada de fase W, obtenida en este trabajo, es similar a la reportada en los otros tres casos. Los sismos que tuvieron una solución revisada de fase W con un número de estaciones menor o igual que 10 son los que se alejan más de la tendencia, es decir, tienen la mayor diferencia en magnitud. Esto se nota para los eventos de menor magnitud.

Existe una excepción, en la comparación con la solución rápida. En el gráfico A de la Figura V-4, se puede ver un evento con magnitud de fase W de 8.2, obtenida con la solución revisada, que tiene una magnitud cercana a 9 de acuerdo con la solución rápida, este evento es el del 8 de septiembre de 2017.

En la Figura V-4 se pueden observar, en el eje de las ordenadas, el residual de magnitud, que se calcula como la resta entre la magnitud de la solución revisada y la magnitud con la que se compara; mientras que el eje de las abscisas, la magnitud reportada por la agencia contra la que se está comparando.

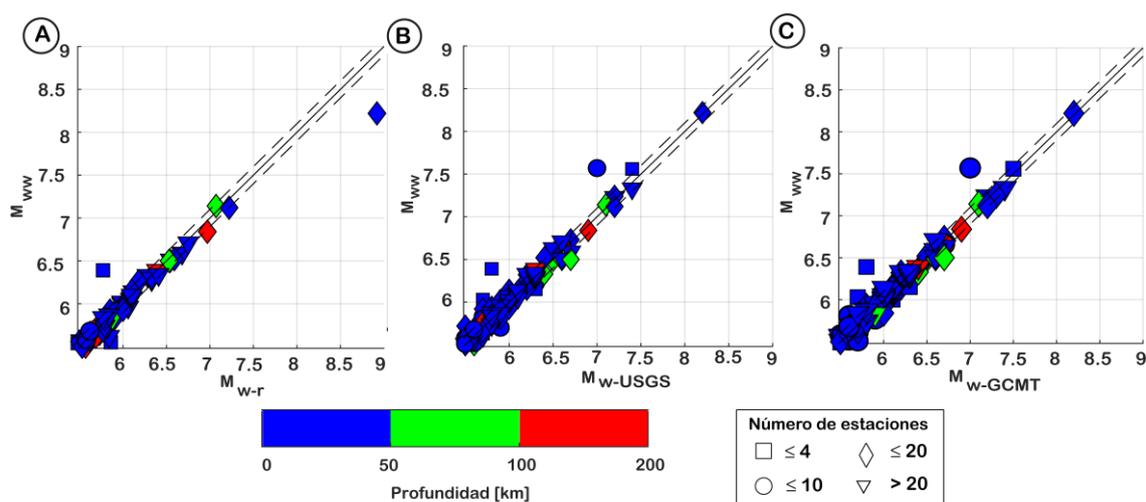


Figura V-4 Comparación entre la magnitud obtenida con la solución revisada de fase W (M_{ww}) y la magnitud obtenida con A) la solución rápida de fase W, B) por el USGS y C) por el GCMT. La escala de color representa la profundidad y el número de estaciones se representa con el símbolo.

En los tres casos, A, B y C, es visible que la mayoría de los eventos tiene un residual menor de 0.1, esto se puede ver tanto en la gráfica de la izquierda, como en el histograma; que se encuentra centrado en 0.

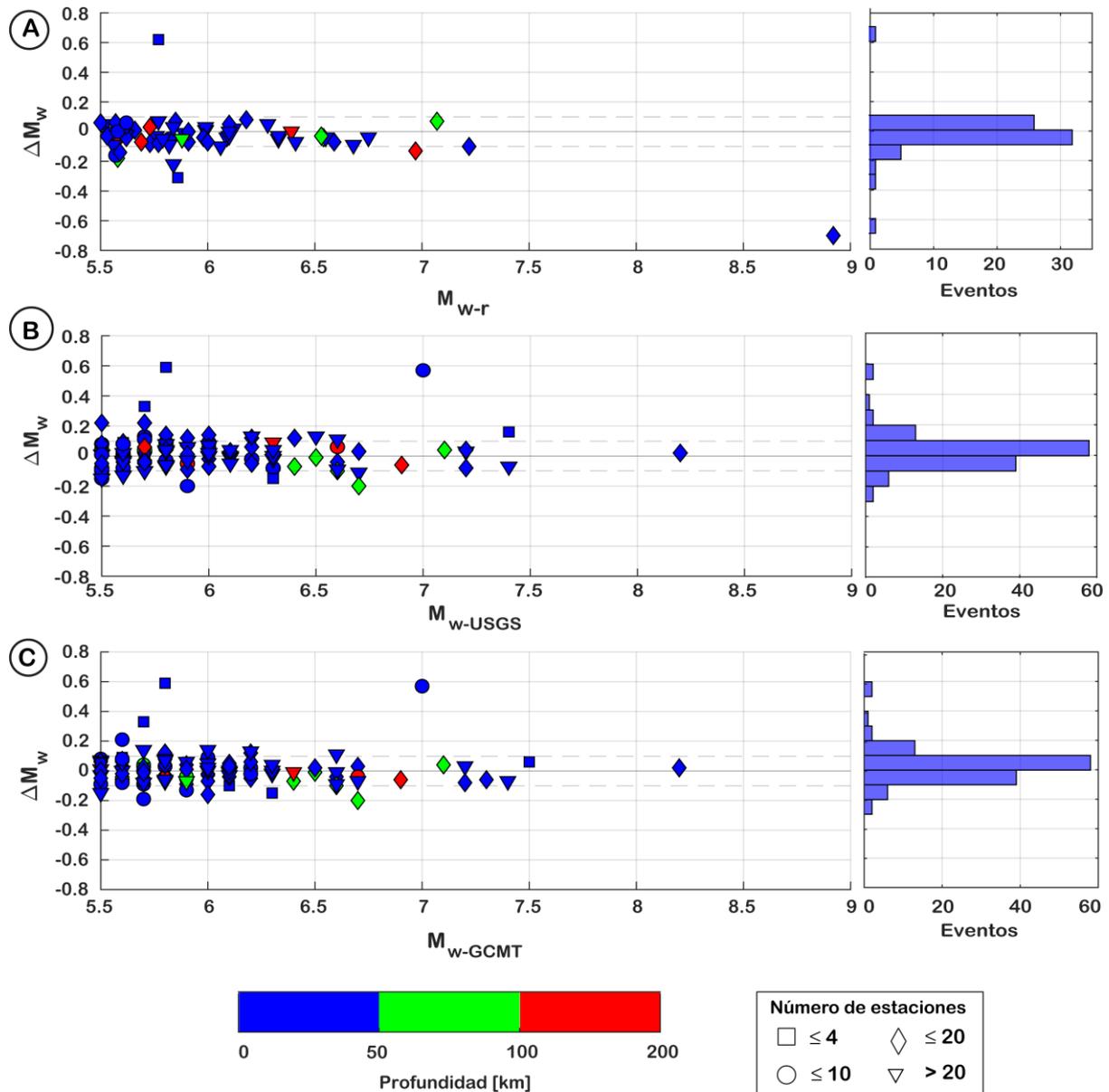


Figura V-5 Izquierda: Residuales de magnitud ($\Delta M_w = M_{ww} - M_{agencia}$), contra la magnitud obtenida con A) la solución rápida de fase W, B) la solución que reporta el USGS y C) la solución de GCMT. Derecha: histograma de residuales para cada caso. La escala de color representa la profundidad y el número de estaciones se representa con el símbolo.

En el histograma de la comparación con el USGS y GCMT, en donde se pueden ver los dos eventos con los mayores residuales (> 0.5). Los eventos con esta característica pueden observarse en los gráficos del lado izquierdo, en donde se distingue que tienen un número de estaciones menor o igual a 4 en un caso y menor o igual a 10 en el otro.

En la comparación con la solución rápida también se observan dos eventos, con mayores residuales, las diferencias absolutas son menores que $|1|$ (histograma A de la Figura V-5), ligeramente más grandes que en el caso de la comparación B y C. En la Figura V-4 se observa que uno tiene menos de 4 estaciones y el otro, es la excepción reportada anteriormente cuyo número de estaciones esta entre 11 y 20.

La Tabla V-1 contiene la media, moda, mediana y desviación estándar; de los residuales de magnitud. Respecto a la solución rápida de fase W, la solución revisada tiende a subestimar la magnitud; tomando como referencia la magnitud obtenida por el USGS y GCMT, la solución revisada de fase W sobreestima la magnitud. Pese a ello las diferencias son pequeñas, pues la media más grande es de -0.031.

Los valores más pequeños de desviación estándar, media, moda y mediana se obtuvieron para los residuales con GCMT y los valores son ligeramente más grandes para la comparación con la solución rápida.

Tabla V-1 Desviación estándar (σ), media (μ), moda (Mo) y mediana (Me), de los residuales de magnitud que se obtuvieron entre la solución revisada de fase W con la solución rápida (W_r), el USGS y GCMT.

	W_r	USGS	GCMT
σ	0.137	0.1120	0.1061
μ	-0.031	0.0228	0.0123
Mo	-0.07	0.04	0
Me	-0.03	0.02	0

V.4. Componentes del tensor de momento

En esta sección se presentan los resultados de la comparación entre las componentes del tensor de momento. En cada caso se comparan las componentes del tensor de momento obtenidas con la solución revisada de fase W, contra las que se obtienen con la solución rápida de fase W (Figura V-6A), las reportadas por el USGS (Figura V-6B) y las que obtiene el GCMT (Figura V-6C).

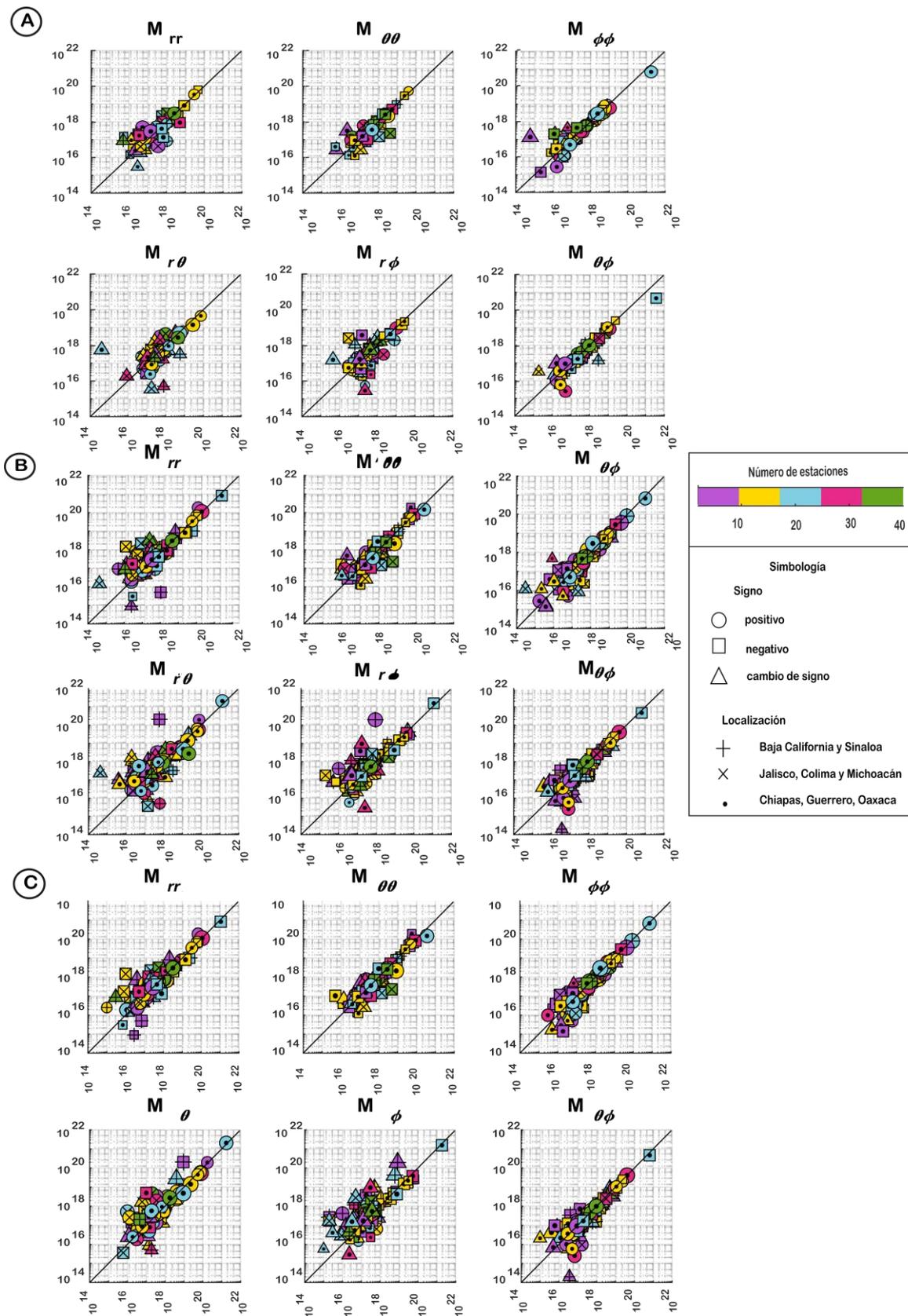


Figura V-6 Comparación de las componentes del tensor de momento sísmico, obtenidas con la solución revisada de fase W (eje vertical). Comparación con A) la solución rápida de fase W, B) la solución del USGS y C) la solución de GCMT.

En los tres casos se observa menor dispersión de los datos en las componentes M_{rr} , $M_{\theta\theta}$, $M_{\varphi\varphi}$ y $M_{\theta\varphi}$. De igual forma, en las tres componentes, la mayor dispersión se puede notar en las componentes $M_{r\theta}$ y $M_{r\varphi}$.

En las tres comparaciones, para las cuatro componentes de mejor ajuste, se percibe una tendencia de mayor dispersión en valores más bajos.

Respecto al USGS y a GCMT, los eventos que parecen presentar mayor desajuste son en su mayoría sismos cuya solución revisada de fase W tuvo pocas estaciones y se localizan al oeste del país, es decir, Baja California, Sinaloa, Jalisco, Colima y Michoacán. Por lo tanto, son los eventos de la parte sur de México los que mejor ajuste tienen

V.5. Eventos sin solución de fase W

El total de eventos sin solución de fase W es de 14, su distribución se muestra en la Figura V-7. Como se puede observar, la mayoría tienen una $M_w < 6$; son solo tres de los 14 que tienen magnitud mayor: 11 de noviembre de 2011 (M_w 6.2), 14 de diciembre de 2012 (M_w 6.4) y 7 de julio de 2014 (M_w 6.9). La concentración de estos eventos sin solución se da en la región sureste del país. La mayoría son sismos que se originaron a menos de 20 km de profundidad.

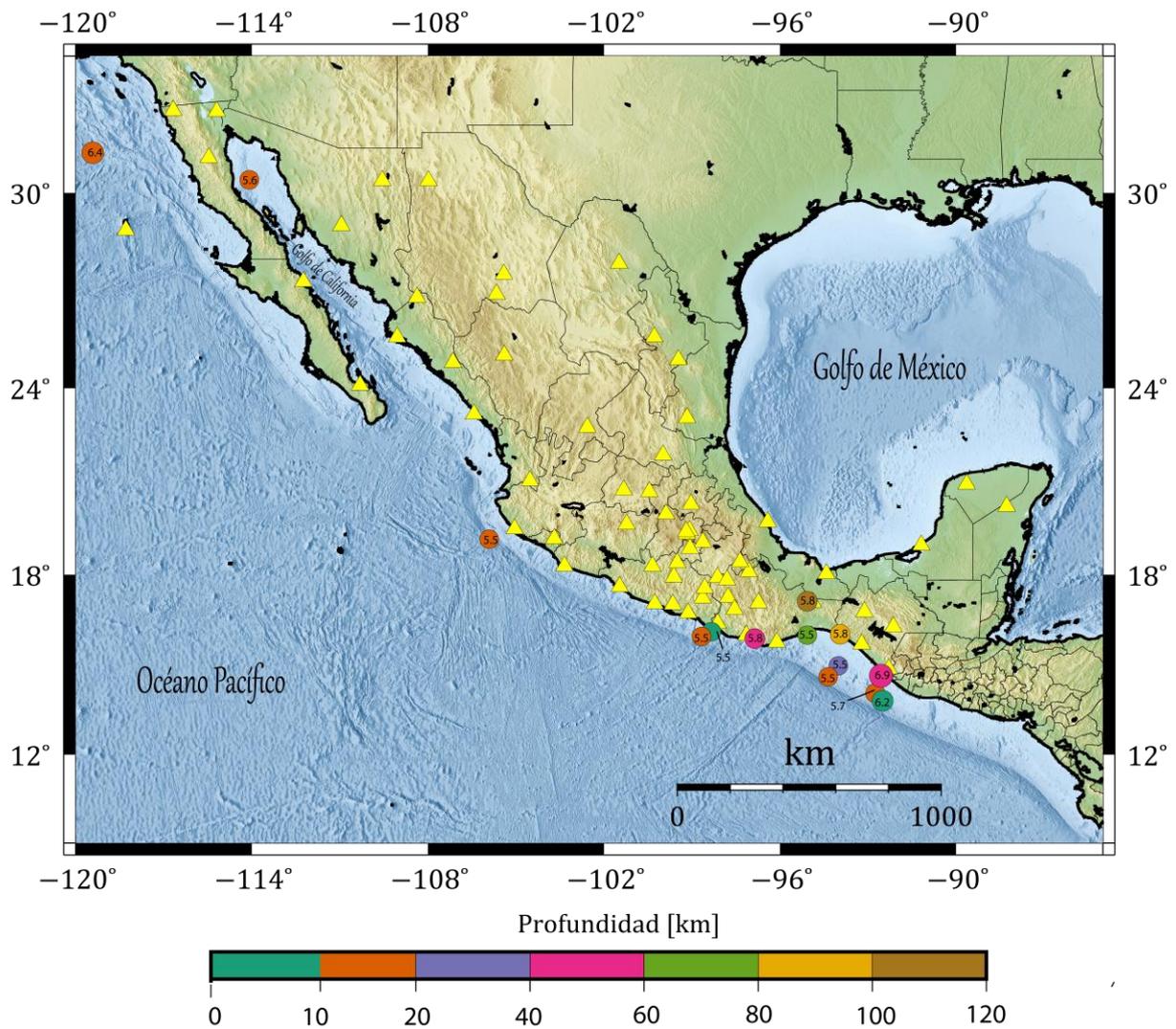


Figura V-7 Distribución de eventos sin solución de fase W, La magnitud de cada uno se observar dentro del círculo que representa a cada uno.

VI. Discusión y conclusiones

Es probable ver una ligera discrepancia entre la solución rápida y revisada, pues en la segunda, de forma manual, se eliminan las estaciones y canales en los que la fase *W* sintética y observada tienen diferencias importantes en forma, amplitud o muestran un desfase temporal. Además, la primera usa los parámetros preliminares del sismo, los cuales son estimados en los primeros cinco minutos tras ocurrido el evento, de manera automática por Seiscomp3 (Pérez-Campos et al., 2020). En la segunda se usan los parámetros revisados por los analistas y que forman parte del catálogo del SSN, así como por el GCMT. Estas diferencias en los parámetros de entrada para la inversión de fase *W* repercuten directamente en que pueda haber un mayor número de canales y estaciones aceptados, por ejemplo, un evento con una magnitud preliminar de 6.5 las frecuencias de corte usadas en el filtro Butterworth serían 0.0067 y 0.02 Hz, después de la revisión del evento la magnitud final sea 6.6, las frecuencias de corte serían entonces 0.02 y 0.01; esa diferencia puede ocasionar que las estaciones y canales usados en cada caso sean diferentes, como consecuencia el resultado de la inversión también sería diferente.

Se observa que, en general, las principales diferencias en cuanto al mecanismo focal, magnitud y valor de las componentes del tensor, se dan en casos en los que la solución revisada de fase *W* se obtuvo con pocas estaciones, tuvo un valor de gap azimutal alto o cuando se tienen ambos casos.

El definir un número que represente el término pocas estaciones o un número que nos diga cuántas estaciones son suficientes para obtener una buena solución de fase *W* es complicado. Sin embargo, podemos tener una idea si observamos las Figura V-2, Figura V-4 y Figura V-6 en donde las mayores diferencias se dan para eventos con menos de 10 estaciones. Algunos ejemplos que podemos distinguir en la Figura V-2, son los eventos del 14 de septiembre de 2010 (M_w 5.6), 25 de septiembre de 2012 (M_w 6.3), y 22 de junio de 2019 (M_w 5.6).

Hay casos en los que, aunque tengan menos de 10 estaciones hay una buena similitud en las soluciones, por ejemplo, 13 de septiembre de 2015 (M_w 5.6) en donde se usaron 6 estaciones y 7 canales, esta solución también tuvo la característica de tener un valor de gap de 195°, lo que pudo contribuir a un mejor resultado.

En general, conforme va creciendo el número de estaciones se puede mejorar la probabilidad de obtener una mejor solución con fase *W*. Un ejemplo, es el sismo del 8 de septiembre de 2017 (M_w 8.2) en donde la magnitud estimada con la solución revisada de fase *W* fue de 8.22 usando 19 estaciones, en contraste la magnitud estimada con la solución rápida fue de 8.92 con solo 5 estaciones, lo que es una diferencia considerable en comparación a la magnitud reportada para el evento.

También, posiblemente, el evento del 8 de septiembre de 2017 presenta grandes diferencias entre la solución rápida y revisada de fase *W*, por la enorme diferencia en los tiempos de corrimiento de fuente usados en cada caso; ya que para la solución rápida el valor fue de 130 s y para la solución revisada, de acuerdo con GCMT, fue de 27.5. De hecho, es el único evento de los que se analizaron en este trabajo que presenta esa considerable discrepancia.

En cuanto al valor del gap azimutal entre menor sea su valor, mejor cobertura de estaciones se tiene, esto se puede ver en los eventos localizados al interior del continente o cercanos a la costa. Se ha visto que si el gap azimutal es mayor de 180° la precisión de la localización de un evento decrece (Tiira et al., 2016). No obstante, en México por la distribución de las estaciones de la red de banda ancha del SSN se da el caso de tener varias soluciones de fase *W* con un gap azimutal mayor de 200° y aun así los resultados de la inversión no muestran importantes diferencias en los parámetros de fuente.

Incluso, los eventos que en este trabajo se han identificado que ocurrieron cercanos a Chiapas, tienen valores de gap altos, mayores de 250° , pero, al ser una zona en la que más eventos tienen una solución con fase *W* con más de 34 estaciones; se tienen buenos resultados con esta metodología. Esto también se corrobora en Franco et al. (2020) en donde se demuestra la zona sur de nuestro país tiene las menores diferencias de mecanismos focales obtenidos con la metodología que se usa en ese trabajo y lo reportado por GCMT, ya que hay una mayor cantidad de estaciones.

Los sismos de Baja California son uno de los casos en los que se tienen valores de gap azimutal mayores de 300° y el número de estaciones es bajo, lo que provoca que sea una zona donde la solución de fase *W* muestre diferencias notables. Como puede encontrarse en el trabajo de Franco et al. (2020) los sismos de $5.0 \leq M_w < 6.5$ localizados al Norte de Baja California pueden tener inconvenientes al calcular el tensor de momento debido

a la disponibilidad de las estaciones. Cabe señalar que todos los eventos reportados en este trabajo localizados en Baja California Norte, a excepción del que ocurrió el 4 de abril de 2010, tienen una magnitud entre 5.5 y 6.0.

La magnitud de la mayor parte de los eventos fue bien estimada con la solución revisada de fase W , la desviación estándar en todos los casos fue menor de 0.14. Por los valores de la Tabla V-1 puede identificar una subestimación de la magnitud respecto a la solución rápida de fase W y una sobreestimación respecto a la magnitud reportada por el USGS y el GCMT. En el caso de la magnitud que se obtiene en la solución rápida, esta puede ser sobreestimada de forma importante si la inversión se ha hecho tomando en cuenta pocas estaciones, como en el ejemplo del 8 de septiembre de 2017 (M_w 8.2).

En general, estos resultados de magnitud van acorde con lo que ya se ha visto en otros estudios de fase W (Duputel et al., 2012), donde la magnitud es uno de los parámetros que menor incertidumbre tiene. Para los eventos de menor magnitud es más probable que haya una diferencia más notoria, al igual que en el trabajo de Franco et al. (2020). También en este trabajo podemos ver que no tiene un sesgo en cuanto a la profundidad y es solo el número bajo de estaciones lo que provoca las mayores diferencias.

El resultado de las mayores diferencias en las componentes $M_{r\theta}$ y $M_{r\phi}$, coincide con lo reportado por (Duputel et al., 2012). Estas componentes del tensor de momento sísmico son difíciles de resolver para largos periodos (Kanamori & Given, 1981).

Por lo que se ha mencionado hasta ahora, el número de estaciones y valor del gap azimutal juegan un papel fundamental en la obtención de una solución aceptable de fase W . La Figura VI-1 muestra la comparación del gap azimutal, el número de estaciones y el número de canales, respecto al tiempo.

El valor del gap azimutal muestra una ligera disminución de 2010 a 2019. Esto puede ser porque no se pueden modificar las características geográficas del territorio mexicano y la localización de los epicentros de sismos de mayor magnitud. El incremento en la cantidad de estaciones y canales usados para la inversión es más evidente, lo que demuestra que la cobertura ha mejorado de 2010 a 2019. Se reporta en que desde 2004 el SSN ha trabajado en un proceso de modernización, involucrando la instalación de nuevas estaciones de banda ancha (Pérez-Campos et al., 2018). En el año 2010 la Red de Banda Ancha estaba constituida por 41 estaciones (Valdés et al., 2010), en el año 2013 ya

eran 57 estaciones (Hernández, 2013) y para el año 2019 estaba conformada de 63 estaciones (Pérez-Campos, 2019).

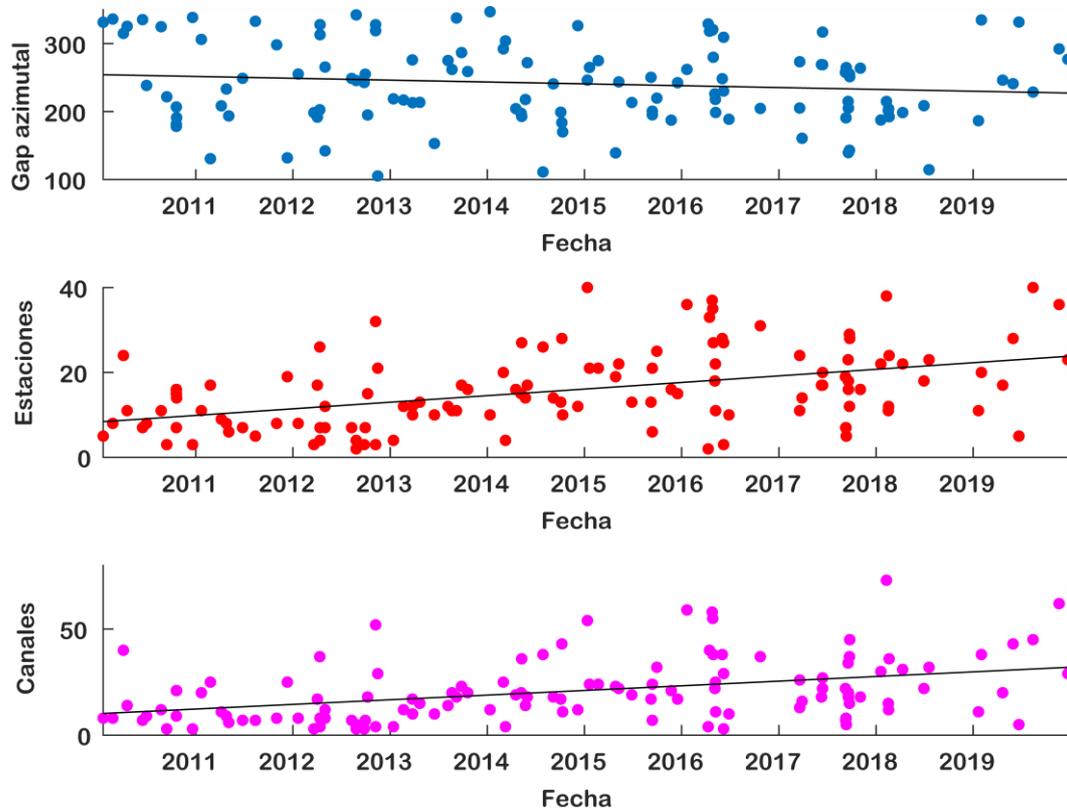


Figura VI-1 Variación temporal del gap azimutal (arriba), el número de estaciones (centro) y de canales (abajo), resultantes de la solución revisada de fase W.

Con las diferencias de magnitud y la comparación del tensor de momento podemos percibir que entre menor sea la magnitud, el ajuste de los parámetros es más inestable, especialmente para los eventos de $M_w < 6$.

Lo anterior también se puede ver en el caso de los eventos que no tuvieron una solución de fase W, en donde, la mayoría de sismos tienen una $M_w < 6$. Para estos 14 eventos se presentaron dos tipos de problemas a la hora de hacer la inversión revisada de fase W: la primera, todas las trazas eran rechazadas desde la primera inversión y la segunda, todas las formas de onda se rechazaban antes de hacer la búsqueda de mallado para el tiempo de corrimiento del centroide y la duración media.

El primer problema, que tuvieron los eventos del 22 de marzo de 2014 (M_w 5.6), 11 de noviembre de 2012 (M_w 6.2) y 7 de julio de 2014 (M_w 6.9), puede presentarse por una baja relación señal ruido en todas las estaciones.

Se pudo corroborar que los eventos que no tuvieron una solución revisada con fase W, y no presentaban problemas de baja señal ruido, sí fueron caracterizados con la solución rápida de fase W. La diferencia que tiene la solución revisada de la rápida, además de lo que su nombre indica, son los parámetros preliminares usados en la inversión. Entonces, el segundo problema, puede deberse a que estos eventos tienen una mayor sensibilidad a los parámetros de la fuente.

El caso de Jalisco en donde se mostraron diferencias consistentes en el mecanismo focal obtenido con la solución revisada de fase W, no puede atribuirse a un bajo número de estaciones, ya que, como se reporta, la caracterización con fase W utiliza más de 10 estaciones. El evento del 7 de junio de 2016 (Figura V-2 columna 3 fila 18) es el único que tiene 3 estaciones y canales, además de un gap azimutal de más de 300°.

Los eventos de Jalisco con un mecanismo focal sin diferencias notables en todas las soluciones que se comparan presentan los valores de gap azimutal más pequeños de toda esa región con la solución revisada de fase W: 23 de agosto de 2016 (gap 204°), 9 de febrero de 2018 (gap 215°) y 30 de junio de 2018 (gap 208.7°).

En contraste, para los casos en los que la solución revisada no tiene un buen ajuste del mecanismo focal, el gap azimutal es mayor. Aunado a esto, la solución rápida de fase W tienen un valor de gap azimutal más pequeño que el de la solución rápida.

Los dos puntos anteriores parecen indicar que las diferencias pueden ser consecuencia de un problema de cobertura azimutal. En la Figura VI-2 se muestra la distribución de estaciones que usaron la solución rápida y la revisada de fase W. Como se observa, la solución revisada no toma en cuenta las formas de onda registrada por las estaciones que se encuentran en Baja California. Una de ellas por ser la estación ubicada en Bahía de los Ángeles, Baja California (BAHB), que pertenece a la Red Sismológica de Banda Ancha del Golfo de California (RESBAN). El resto de las estaciones que sí pertenecen a la Red de Banda Ancha del SSN y que han sido rechazadas podrían no haber cumplido las características que el algoritmo de fase W examina, siendo consideradas como malas trazas; por ejemplo, canales muertos, ruidosos, malas respuestas instrumentales, trazas incompletas, entre otras (Duputel et al., 2012).

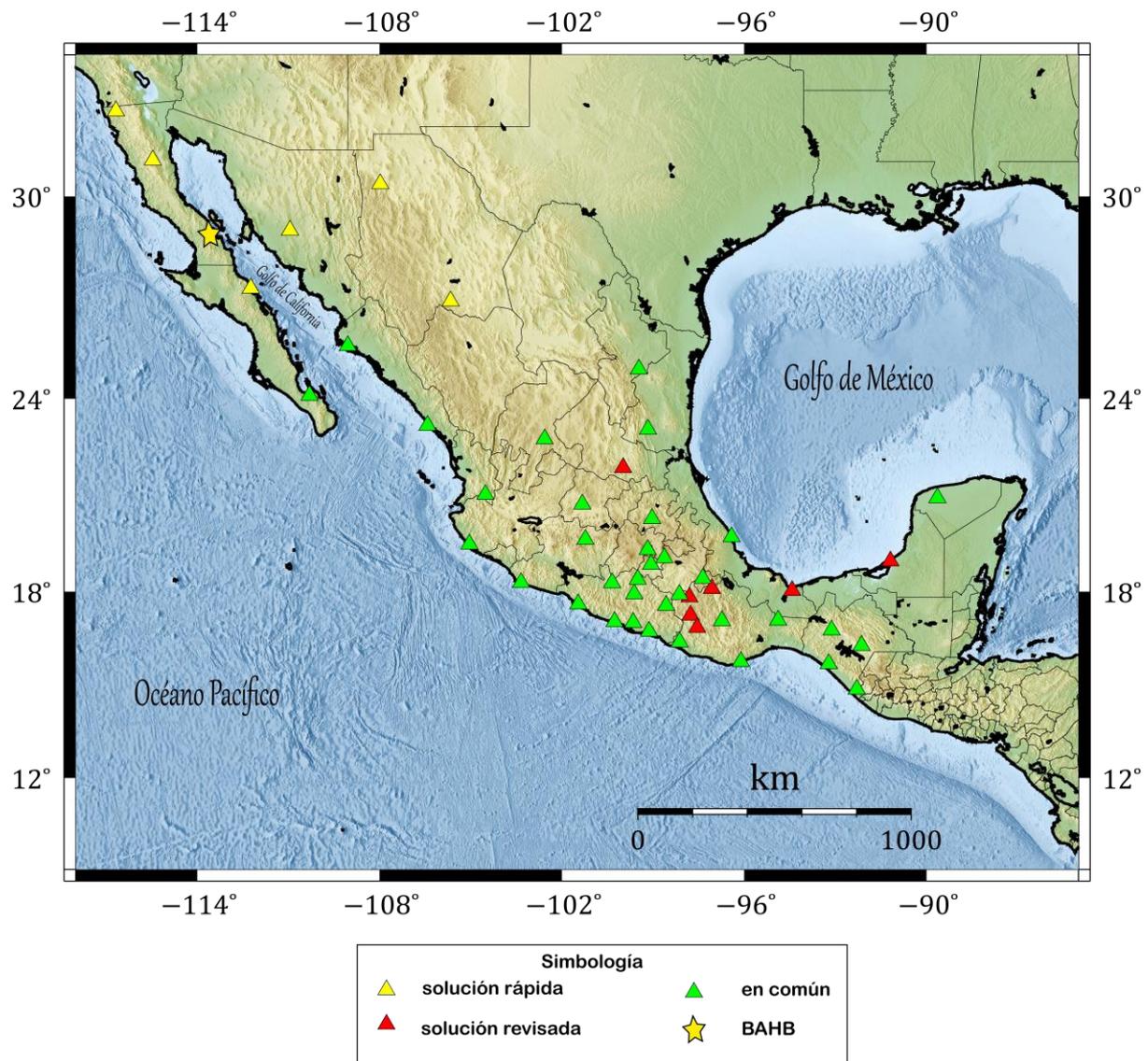


Figura VI-2 Mapa de la ubicación de las estaciones usadas únicamente en la inversión rápida de fase W (triángulos amarillos), las empleadas en la solución revisada de fase W (triángulos rojos) y las que fueron tomadas en ambos casos (triángulos verdes). Todas las estaciones en triángulos pertenecen a la Red de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional. La estrella indica la posición de la estación de Bahía de los Ángeles (BAHB), que forma parte de la Red de Banda Ancha del Golfo de California (RESBAN).

Finalmente, podemos ver que también en el periodo de 2010 a 2019, en México, tuvieron lugar sismos que Duputel et al. (2012) reportan como “eventos perturbados”, es decir, sismos cuyos registros son contaminados por perturbaciones de gran amplitud provenientes de eventos que ocurrieron antes. La cercanía en tiempo y espacio debe ser pequeña. La información de estos sismos se puede ver en la Tabla VI-1 .

Tabla VI-1 Listado de eventos perturbados de 2010 a 2019. En negritas se muestra la información del evento perturbado y previo a ello, la información del evento cercano que pudo producir dicha anomalía.

FECHA	HORA	M_w	LATITUD	LONGITUD	PROFUNDIDAD
20-10-2010	04:09:42	5.9	24.73	-109.23	10
20-10-2010	04:15:31	5.6	25.09	-109.23	10
12-04-2012	07:05:59	6	28.79	-113.414	15
12-04-2012	07:15:46	6.8	28.8278	-113.164	5
07-06-2016	10:51:36	6.1	18.2838	-105.306	8.7
07-06-2016	10:57:59	5.5	18.4083	-105.349	11.6

Los “eventos perturbados” no tienen una buena solución con la metodología de fase W y eso se puede corroborar en la Figura V-2, que muestra notables diferencias en el mecanismo focal y magnitud de dichos sismos.

VI.1. Conclusiones

Emplear la metodología de fase W para caracterizar eventos: intraplaca, interplaca o de rumbo, de $M_w \geq 5.5$ en México, usando los registros de estaciones de Banda Ancha del SSN, produce resultados confiables. La solución revisada de fase W mostró resultados congruentes con los parámetros de fuente sísmica reportados por las agencias USGS y GCMT. A su vez, la solución rápida mostró resultados similares a la solución revisada de fase W. Por lo que, las cuatro soluciones fueron casi idénticas en la mayoría de los casos.

Las principales diferencias se deben a problemas con la cobertura: bajo número de estaciones y altos valores en el gap azimutal. En este trabajo podemos definir un número bajo de estaciones como menor de 10 y valores de gap azimutal altos, mayores de 250° .

Sin embargo, se ha visto que con la metodología de fase W es posible obtener una buena caracterización para todo tipo de sismos, si se tienen pocas estaciones bien distribuidas o si se tienen suficientes estaciones y canales para que el valor del gap azimutal no tenga una influencia importante, como es el caso de Chiapas.

La solución de fase W para eventos que aquí se identificaron cercanos a Jalisco, producidos por el movimiento oblicuo de la placa de Rivera, muestran una dependencia importante del gap azimutal, más que en otras regiones.

Las menores diferencias en los parámetros de fuente se obtuvieron para aquellos sismos producidos por la interacción de la placa de Cocos y Norteamérica que se sitúan en la región sur del país, cerca de los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas o los eventos que se localizan en la dentro del continente, cerca de Puebla o de Veracruz.

La magnitud del sismo es bien estimada con fase W en toda la región. Tanto la solución revisada, como la rápida, tienden a sobreestimar la magnitud, sin embargo, el cambio no es significativo.

La revisión manual de las fases permite refinar los parámetros de fuente. Pero, se ha visto que se puede confiar en los resultados obtenidos de manera rápida, si se tiene buena cobertura.

La caracterización con fase W para sismos con una $M_w < 6$ demuestra confiabilidad, a pesar de que haya mayor inestabilidad en los parámetros estimados. La solución de fase W para eventos de mayor magnitud muestra mayor consistencia.

Cuando dos eventos ocurren cercanos en tiempo y espacio; es recomendable no usar la metodología de fase W porque es posible que haya interferencia de las ondas de periodo largo, por consecuencia los parámetros estimados con fase W no son confiables.

Referencias

- DeMets, C., Gordon, R. G., Argus, D. F., & Stein, S. (1990). Current plate motions. *Geophysical Journal International*, *101*(2), 425–478. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1990.tb06579.x>
- Demets, C., & Stein, S. (1990). Present-day kinematics of the Rivera Plate and implications for tectonics in southwestern Mexico. *Journal of Geophysical Research*, *95*(B13), 21931–21948. <https://doi.org/10.1029/jb095ib13p21931>
- Demets, Charles, & Traylen, S. (2000). Motion of the Rivera plate since 10 Ma relative to the Pacific and North American plates and the mantle. *Tectonophysics*, *318*(1–4), 119–159. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(99\)00309-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(99)00309-1)
- Duputel, Z., Rivera, L., Kanamori, H., & Hayes, G. (2012). W phase source inversion for moderate to large earthquakes (1990-2010). *Geophysical Journal International*, *189*(2), 1125–1147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05419.x>
- Dziewonski, A. M., Chou, T.-A., & Woodhouse, J. H. (1981). Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, *86*(B4), 2825–2852. <https://doi.org/10.1029/JB086iB04p02825>
- Ekström, G., Nettles, M., & Dziewoński, A. M. (2012). The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, *200–201*, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2012.04.002>
- Espíndola, V. H., & Pérez-Campos, X. (2018). ¿Qué son los sismos, dónde ocurren y cómo se miden? *Ciencia*, *69*(3), 8–15. https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/69_3/PDF/QueSonSismos.pdf
- Franco, S. I., Iglesias, A., & Fukuyama, E. (2020). Moment tensor catalog for Mexican earthquakes: almost two decades of seismicity. *Geofísica Internacional*, *59*(2), 54–82.
- Havskov, J., & Ottemöller, L. (2010). Focal Mechanism and Seismogram Modeling. In

- Routine Data Processing in Earthquake Seismology* (pp. 193–243). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8697-6_7
- Hayes, G. P., Rivera, L., & Kanamori, H. (2009). Source inversion of the W-phase: Realtime implementation and extension to low magnitudes. *Seismological Research Letters*, 80(5), 817–822. <https://doi.org/10.1785/gssrl.80.5.817>
- Hernández, L. (2013). *Protecciones eléctricas para las estaciones sismológicas de Banda Ancha del Servicio Sismológico Nacional*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Kanamori, H. (1993). W phase. *Geophysical Research Letters*, 20(16), 1691–1694. <https://doi.org/10.1029/93GL01883>
- Kanamori, H., & Given, J. W. (1981). Use of long-period surface waves for rapid determination of earthquake-source parameters. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 27(1), 8–31. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(81\)90083-2](https://doi.org/10.1016/0031-9201(81)90083-2)
- Kanamori, H., & Rivera, L. (2008). Source inversion of W phase: Speeding up seismic tsunami warning. *Geophysical Journal International*, 175(1), 222–238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2008.03887.x>
- Lay, T., & Wallace, T. (1995). *Modern Global Seismology*. Academic Press.
- Ortega-Gutiérrez, F., Elías-Herrera, M., Morán-Zenteno, D. J., Solari, L., Weber, B., & Luna-González, L. (2018). The pre-Mesozoic metamorphic basement of Mexico, 1.5 billion years of crustal evolution. *Earth-Science Reviews*, 183(March), 2–37. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.03.006>
- Pérez-Campos, X. (2019). Servicio Sismológico Nacional. *Internatl. Seismol. Cent.*, 53(II), 29–40.
- Pérez-Campos, X., Espíndola, V. H., Pérez, J., Estrada, J. A., Monroy, C. C., Bello, D., González-López, A., Ávila, D. G., Esparza, M. G. C. R., Maldonado, R., Tan, Y., Rasilla, I. R., Rosas, M. Á. V., Cruz, J. L., Cárdenas, A., Estrada, F. N., Hurtado, A., De Jesús Mendoza Carvajal, A., Montoya-Quintanar, E., & Pérez-Velázquez, M. A. (2018). The mexican national seismological service: An overview. In *Seismological Research Letters* (Vol. 89, Issue 2A, pp. 318–323). Seismological Society of America.

<https://doi.org/10.1785/0220170186>

Shearer, P. M. (2009). *Introduction to Seismology*. Cambridge University Press.

SSN. (2020). *Reporte especial: Sismo del 23 de junio de 2020, Oaxaca (M 7.4)*.

SSN. (2021). *Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geofísica, Servicio Sismológico Nacional*. <http://www.ssn.unam.mx>

Stein, S., & Wysession, M. (2003). *An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure*. Blackwell publishing.

Tiira, T., Uski, M., Kortström, J., Kaisko, O., & Korja, A. (2016). Local seismic network for monitoring of a potential nuclear power plant area. *Journal of Seismology*, 20(2), 397–417. <https://doi.org/10.1007/s10950-015-9534-8>

Udías, A., & Buforn, E. (2018). *Principles of Seismology* (2nd ed.). Cambridge University Press.

Valdés, C., Jiménez, C., Estrada, J., Pérez, J., Cruz, J. L., Tan, Y. L., Cárdenas, A., Cárdenas, C., Franco, S. I., Pérez-Campos, X., Iglesias, A., Rodríguez, Luis Edgar Rodríguez, I., Yáñez, A., & Navarro, Fernando Espíndola, V. H. (2010). Servicio Sismológico Nacional, diagnóstico y visión a 100 años de su creación. *GEOS*, 30(1).

ANEXO A

Parámetros reportados por el SSN, USGS y GCMT de los 137 eventos analizados.

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2010-01-18	2010-02-09	2010-02-23	2010-04-04	2010-04-18	2010-06-15	
		Hora UTC	15:40:32	00:47:40	10:52:15	22:40:42	13:30:58	04:26:58	
		Magnitud	5.6	5.8	5.5	7.2	5.6	5.7	
		Latitud	13.85	15.89	15.93	32.47	14.21	32.89	
		Longitud	-90.66	-96.86	-91.11	-115.37	-92.47	-115.92	
		Profundidad	118	40	25	10	21	19	
				Magnitud	5.9	5.7	5.3	7.2	5.6
USGS		Porcentaje DC	82	61	87	32	92	70	
		Half Duration	2.2	1.7	1.2	29	1.6		
			Mrr	2.2E+17	8.4E+16	8.0E+16	-3.1E+19	-3.7E+16	-9.2E+16
	Componentes del tensor de momento		Mtt	-3.4E+17	-4.0E+17	-4.7E+16	-6.0E+19	-1.4E+16	-3.8E+17
			Mpp	1.1E+17	3.1E+17	-3.4E+16	9.1E+19	5.2E+16	4.7E+17
			Mrt	7.1E+17	2.0E+17	-9.0E+16	2.1E+19	2.1E+17	-8.6E+16
			Mrp	-4.5E+17	-9.8E+16	4.8E+16	-4.7E+19	-2.7E+17	-8.7E+16
			Mtp	1.1E+17	-7.7E+16	5.2E+16	-1.5E+19	4.0E+15	-9.6E+16
				Rumbo	253	219	301	220	208
	Plano nodal 1		Echado	13	58	70	53	6	84
			Deslizamiento	42	5	81	-10	-25	-17
				Rumbo	122	126	144	316	322
	Plano nodal 2		Echado	81	86	22	82	87	73
			Deslizamiento	100	148	112	-143	-96	-174
			Momento escalar	9.0E+17	4.2E+17	1.3E+17	9.6E+19	3.4E+17	4.6E+17
	GCMT		Half Duration	2.2	1.7	1.2	9.6	1.6	1.9
			Time-shift	6.1	4.2	5	26.2	1.9	2.9
Mw			5.9	5.7	5.4	7.2	5.6	5.8	
Componentes del tensor de momento			Mrr	2.2E+24	8.4E+23	8.0E+23	-2.3E+26	-3.7E+23	-1.8E+24
			Mtt	-3.4E+24	-4.0E+24	-4.7E+23	-6.4E+26	-1.4E+23	-5.2E+24
			Mpp	1.1E+24	3.1E+24	-3.4E+23	8.7E+26	5.2E+23	7.0E+24
			Mrt	7.1E+24	2.0E+24	-9.0E+23	4.0E+25	2.1E+24	-5.9E+23
			Mrp	-4.5E+24	-9.8E+23	4.8E+23	-6.0E+25	-2.7E+24	-2.0E+22
			Mtp	1.1E+24	-7.7E+23	5.2E+23	-5.0E+25	4.0E+22	-1.3E+24
Plano nodal 1			Rumbo	253	219	144	223	208	39
			Echado	13	58	22	84	6	83
			Deslizamiento	42	5	112	-2	-25	-6
Plano nodal 2			Rumbo	122	126	301	313	322	129
			Echado	81	86	70	88	87	84
			Deslizamiento	100	148	81	-174	-96	-173
		Momento escalar	9.0E+24	4.2E+24	1.3E+24	7.6E+26	3.4E+24	6.3E+24	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2010-06-30	2010-08-24	2010-09-14	2010-10-20	2010-10-20	2010-10-20	
		Hora UTC	07:22:27	02:11:55	23:32:01	04:09:42	04:15:31	06:58:12	
		Magnitud	6	6.1	5.5	5.9	5.6	5.8	
		Latitud	16.24	18.44	21.49	24.73	25.09	24.67	
		Longitud	-97.99	-107.27	-105.93	-109.23	-109.23	-109.13	
		Profundidad	4	14	16	10	10	6	
USGS		Magnitud	6.3	6.2	5.5	5.6	5.9	5.9	
		Porcentaje DC	99	95	83	70	79	33	
		Half Duration	3.3	3	1.4	1.6	2.1	1.8	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	1.2E+18	-1.0E+16	-1.1E+16	2.5E+17	-1.2E+17	-1.8E+17	
		Mtt	-1.0E+18	-1.4E+18	-1.1E+17	-2.2E+17	-7.1E+17	-3.8E+17	
		Mpp	-2.0E+17	1.5E+18	1.2E+17	-3.2E+16	8.2E+17	5.6E+17	
		Mrt	2.3E+18	-2.1E+17	-2.1E+16	2.0E+17	1.4E+17	-7.5E+16	
		Mrp	-1.6E+18	2.7E+17	3.6E+16	-6.6E+16	4.7E+16	2.0E+17	
		Mtp	4.8E+17	-1.8E+18	-1.8E+17	1.7E+17	-3.1E+16	-3.6E+16	
	Plano nodal 1	Rumbo	286	289	286	311	315	135	
		Echado	12	86	83	28	79	87	
		Deslizamiento	72	173	173	107	-173	-156	
	Plano nodal 2	Rumbo	124	20	17	112	223	44	
		Echado	78	83	83	63	83	66	
		Deslizamiento	94	4	7	81	-11	-4	
		Momento escalar	3.1E+18	2.3E+18	2.1E+17	3.5E+17	7.8E+17	5.1E+17	
	GCMT		Half Duration	3.3	3	1.6	2.1	1.8	1.9
			Time-shift	5.1	8.6	1.7	5.1	3.2	4.3
Mw			6.3	6.2	5.6	5.9	5.7	5.8	
Componentes del tensor de momento		Mrr	1.2E+25	-1.0E+23	2.5E+24	-1.2E+24	-1.8E+24	-7.0E+23	
		Mtt	-1.0E+25	-1.4E+25	-2.2E+24	-7.1E+24	-3.8E+24	-5.5E+24	
		Mpp	-2.0E+24	1.5E+25	-3.2E+23	8.2E+24	5.6E+24	6.2E+24	
		Mrt	2.3E+25	-2.1E+24	2.0E+24	1.4E+24	-7.5E+23	1.3E+24	
		Mrp	-1.6E+25	2.7E+24	-6.6E+23	5.0E+23	2.0E+24	2.3E+23	
		Mtp	4.8E+24	-1.8E+25	1.7E+24	-3.0E+23	-3.6E+23	-1.2E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	286	20	311	315	44	310	
		Echado	12	83	28	79	65	80	
		Deslizamiento	72	4	107	-173	-4	-170	
Plano nodal 2		Rumbo	124	289	112	223	135	218	
		Echado	78	86	63	83	86	81	
		Deslizamiento	94	173	81	-11	-155	-11	
		Momento escalar	3.1E+25	2.3E+25	3.5E+24	7.8E+24	5.1E+24	6.1E+24	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2010-10-21	2010-12-20	2011-01-22	2011-02-25	2011-04-07	2011-04-26	
		Hora UTC	17:53:11	17:21:42	01:27:35	13:07:28	13:11:22	11:07:28	
		Magnitud	6.5	5.5	5.5	6	6.7	5.5	
		Latitud	24.65	13.36	15.72	17.69	17.22	16.71	
		Longitud	-109.41	-89.8	-104.15	-95.21	-94.32	-99.68	
		Profundidad	8	20	10	135	171	8	
USGS		Magnitud	5.8	5.6	5.7	5.4	5.6	6.6	
		Porcentaje DC	88	82	100	81	89	79	
		Half Duration	1.9	1.6	1.8	1.3	1.5	5	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-7.1E+16	-5.6E+16	-2.6E+17	-1.7E+16	-1.1E+16	-5.4E+18	
		Mtt	-5.5E+17	-1.0E+17	2.2E+17	6.2E+16	-2.7E+17	-3.2E+18	
		Mpp	6.2E+17	1.6E+17	3.5E+16	-4.5E+16	2.8E+17	8.5E+18	
		Mrt	1.3E+17	2.4E+17	2.5E+17	2.7E+16	-2.8E+16	7.5E+18	
		Mrp	2.3E+16	-2.0E+17	-3.0E+17	-2.0E+15	4.4E+16	-5.6E+18	
		Mtp	-1.2E+17	-8.1E+16	-1.3E+17	-1.7E+17	-9.0E+16	-4.3E+18	
	Plano nodal 1	Rumbo	310	207	316	171	306	197	
		Echado	79	25	73	82	87	33	
		Deslizamiento	-170	-14	-78	1	171	-29	
	Plano nodal 2	Rumbo	218	309	99	81	36	311	
		Echado	81	84	20	89	81	75	
		Deslizamiento	-11	-115	-125	172	3	-120	
		Momento escalar	6.1E+17	3.5E+17	4.7E+17	1.8E+17	2.9E+17	1.3E+19	
	GCMT		Half Duration	5.3	1.8	1.3	2.4	5.5	1.2
			Time-shift	6.8	0	4.3	2.2	5.3	6.3
Mw			6.7	5.7	5.4	6	6.7	5.4	
Componentes del tensor de momento		Mrr	4.0E+24	-2.6E+24	-1.7E+23	-1.1E+25	-5.6E+25	1.1E+24	
		Mtt	-1.3E+26	2.2E+24	6.2E+23	1.4E+24	-2.9E+25	-9.1E+23	
		Mpp	1.3E+26	3.5E+23	-4.5E+23	9.1E+24	8.6E+25	-1.9E+23	
		Mrt	-1.1E+25	2.5E+24	2.7E+23	3.2E+24	9.1E+25	8.5E+23	
		Mrp	5.0E+24	-3.0E+24	-2.0E+22	-5.0E+23	-6.2E+25	-6.3E+23	
		Mtp	-2.0E+25	-1.3E+24	-1.7E+24	-5.7E+24	-5.7E+25	2.9E+23	
Plano nodal 1		Rumbo	41	99	171	167	194	281	
		Echado	85	20	82	42	32	24	
		Deslizamiento	-1	-125	1	-68	-27	72	
Plano nodal 2		Rumbo	131	316	81	318	307	121	
		Echado	89	73	89	52	76	68	
		Deslizamiento	-175	-78	172	-109	-119	98	
		Momento escalar	1.3E+26	4.7E+24	1.8E+24	1.2E+25	1.4E+26	1.5E+24	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2011-05-05	2011-07-26	2011-08-13	2011-11-01	2011-12-11	2012-01-21	
		Hora UTC	13:24:07	17:44:18	07:33:07	12:31:58	01:47:25	18:47:13	
		Magnitud	5.5	5.9	5.6	6	6.5	6	
		Latitud	16.61	25.11	14.42	19.73	17.84	14.7043	
		Longitud	-98.91	-109.64	-94.9	-109.3	-99.96	-93.2882	
		Profundidad	12	13	18	16	54	16.1	
USGS		Magnitud	5.5	5.7	6	5.8	6.3	6.5	
		Porcentaje DC	84	98	98	80	68	98	
		Half Duration	1.2	1.7	2.6	2		4.1	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	1.1E+17	7.3E+16	-7.0E+17	-6.1E+17	4.0E+16	-5.6E+18	
		Mtt	-9.1E+16	-1.3E+17	-1.4E+18	4.6E+17	-2.3E+18	5.4E+18	
		Mpp	-1.9E+16	5.9E+16	1.4E+18	1.5E+17	2.3E+18	2.4E+17	
		Mrt	8.5E+16	-3.6E+17	-3.5E+17	1.0E+17	-1.5E+17	-2.4E+18	
		Mrp	-6.3E+16	2.4E+17	1.0E+16	6.8E+16	-1.4E+17	7.0E+16	
		Mtp	2.9E+16	-8.0E+15	-1.3E+17	-3.7E+17	-1.4E+18	-1.0E+18	
	Plano nodal 1	Rumbo	281	303	133	135	208	97	
		Echado	24	85	81	44	88	56	
		Deslizamiento	71	102	-169	-73	29	-94	
	Plano nodal 2	Rumbo	121	54	41	292	117	284	
		Echado	68	12	79	48	61	34	
		Deslizamiento	98	22	-9	-106	178	-84	
		Momento escalar	1.5E+17	4.5E+17	1.5E+18	6.7E+17	2.7E+18	6.1E+18	
	GCMT		Half Duration	1.7	2.6	2	3.2	4.1	3
			Time-shift	1.1	2.3	2.3	3.8	2.5	2.8
Mw			5.7	6	5.8	6.2	6.5	6.2	
Componentes del tensor de momento		Mrr	7.3E+23	-7.0E+23	-6.1E+24	4.0E+23	-5.6E+25	-1.8E+25	
		Mtt	-1.3E+24	-1.4E+25	4.6E+24	-2.3E+25	5.4E+25	1.1E+24	
		Mpp	5.9E+23	1.4E+25	1.5E+24	2.3E+25	2.4E+24	1.7E+25	
		Mrt	-3.6E+24	-3.5E+24	1.0E+24	-1.5E+24	-2.4E+25	9.0E+24	
		Mrp	2.4E+24	1.0E+23	6.8E+23	-1.4E+24	7.0E+23	-7.9E+24	
		Mtp	-8.0E+22	-1.2E+24	-3.7E+24	-1.4E+25	-1.0E+25	-1.4E+25	
Plano nodal 1		Rumbo	54	42	135	119	284	166	
		Echado	12	79	44	86	34	33	
		Deslizamiento	22	-9	-73	-179	-84	-65	
Plano nodal 2		Rumbo	303	133	292	29	97	317	
		Echado	85	81	48	89	56	61	
		Deslizamiento	102	-169	-106	-4	-94	-105	
		Momento escalar	4.5E+24	1.4E+25	6.7E+24	2.7E+25	6.1E+25	2.4E+25	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2012-03-20	2012-04-02	2012-04-11	2012-04-12	2012-04-12	2012-05-01	
		Hora UTC	18:02:48	17:36:43	22:55:10	07:05:59	07:15:46	16:37:58	
		Magnitud	7.5	6	6.4	6	6.8	5.6	
		Latitud	16.264	16.2948	17.9217	28.7955	28.8278	18.2507	
		Longitud	-98.457	-98.544	-103.068	-113.414	-113.164	-101.085	
		Profundidad	18	12	20	15	5	51.1	
USGS		Magnitud	6.2	7.4	6	6.5	6	7	
		Porcentaje DC	59	87	91	91	47	81	
		Half Duration	3.1	13	2.5	5.2	2.5	7.9	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-1.8E+18	6.5E+19	-1.3E+18	7.9E+18	-4.2E+17	-4.2E+18	
		Mtt	2.0E+16	-5.1E+19	1.4E+18	-7.5E+18	-1.2E+18	-4.1E+19	
		Mpp	1.7E+18	-1.4E+19	-7.0E+16	-4.1E+17	1.6E+18	4.5E+19	
		Mrt	9.1E+17	7.8E+19	2.0E+16	7.7E+18	-1.0E+17	-6.0E+17	
		Mrp	-8.7E+17	-6.4E+19	-1.2E+17	-4.2E+18	-1.9E+17	9.0E+17	
		Mtp	-1.3E+18	2.1E+19	0.0E+00	3.0E+18	-3.0E+16	-5.8E+18	
	Plano nodal 1	Rumbo	169	285	84	283	44	311	
		Echado	32	17	45	22	88	90	
		Deslizamiento	-65	69	-98	77	-9	179	
	Plano nodal 2	Rumbo	319	127	276	116	134	41	
		Echado	61	74	46	68	81	89	
		Deslizamiento	-105	96	-82	95	-178	0	
		Momento escalar	2.5E+18	1.2E+20	1.3E+18	1.2E+19	1.4E+18	4.3E+19	
	GCMT		Half Duration	13.2	2.6	5.2	2.7	8.1	1.8
			Time-shift	7.4	3.8	7.1	5.2	16	0.2
Mw			7.5	6.1	6.7	6.1	7	5.7	
Componentes del tensor de momento		Mrr	6.8E+26	-1.3E+25	8.6E+25	-2.8E+24	-2.1E+25	-4.9E+24	
		Mtt	-5.6E+26	1.4E+25	-8.2E+25	-1.3E+25	-4.2E+26	4.9E+24	
		Mpp	-1.2E+26	-9.0E+23	-4.0E+24	1.6E+25	4.4E+26	-5.0E+22	
		Mrt	1.7E+27	6.8E+24	7.0E+25	-4.7E+24	-9.3E+25	8.0E+23	
		Mrp	-6.6E+26	-6.0E+23	-3.9E+25	-6.6E+24	-8.4E+25	-9.7E+23	
		Mtp	2.4E+26	1.0E+23	3.1E+25	-4.0E+23	-6.4E+25	-1.5E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	296	86	282	134	131	97	
		Echado	10	32	25	60	74	40	
		Deslizamiento	95	-95	77	-176	-177	-104	
Plano nodal 2		Rumbo	111	272	116	42	40	295	
		Echado	80	58	66	86	87	51	
		Deslizamiento	89	-87	96	-30	-16	-79	
		Momento escalar	2.0E+27	1.5E+25	1.2E+26	1.7E+25	4.6E+26	5.2E+24	

		PARÁMETRO						
SSN		Fecha UTC	2012-05-01	2012-07-29	2012-08-09	2012-08-26	2012-08-26	2012-09-25
		Hora UTC	22:43:36	12:22:13	02:34:33	19:31:22	20:57:59	23:45:25
		Magnitud	6.1	5.7	5.5	5.5	5.6	6
		Latitud	14.4265	14.0647	19.5848	33.2658	33.087	24.777
		Longitud	-93.2253	-92.7543	-109.165	-115.495	-115.474	-110.234
		Profundidad	12	16.2	10	16.6	17	11.2
USGS		Magnitud	5.7	6	5.9	5.6	5.3	5.4
		Porcentaje DC	77	96	98	78	73	
		Half Duration	1.8	2.8	2.1		1.2	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-4.4E+17	1.2E+18	5.9E+17	-2.5E+16	-4.2E+16	
		Mtt	4.7E+17	-8.9E+17	-4.7E+17	-3.9E+17	-1.2E+17	
		Mpp	-3.3E+16	-2.7E+17	-1.2E+17	4.1E+17	1.7E+17	
		Mrt	8.6E+16	1.2E+18	5.1E+17	2.2E+16	4.4E+16	
		Mrp	-1.1E+17	-8.7E+17	-2.9E+17	7.4E+16	-3.7E+16	
		Mtp	-1.5E+17	4.6E+17	2.5E+17	-1.5E+17	4.5E+16	
	Plano nodal 1	Rumbo	296	292	296	31	232	
		Echado	53	19	23	88	67	
		Deslizamiento	-76	79	87	-25	-12	
	Plano nodal 2	Rumbo	94	124	119	122	326	
		Echado	40	71	67	65	79	
		Deslizamiento	-108	94	91	-178	-156	
		Momento escalar	5.0E+17	1.9E+18	8.3E+17	4.3E+17	1.6E+17	
	GCMT		Half Duration	2.5	2	1.7	1.2	1.4
Time-shift			4.6	3.8	0.9	2.8	3.1	2.5
Mw			6	5.8	5.7	5.4	5.5	6.3
Componentes del tensor de momento		Mrr	1.1E+25	5.7E+24	-4.0E+23	-4.2E+23	-4.1E+23	-2.5E+25
		Mtt	-9.0E+24	-4.5E+24	-3.7E+24	-1.2E+24	-1.6E+24	-6.3E+24
		Mpp	-1.6E+24	-1.1E+24	4.1E+24	1.6E+24	2.0E+24	3.1E+25
		Mrt	6.7E+24	3.0E+24	-2.2E+23	-1.7E+23	-3.8E+23	1.0E+25
		Mrp	-6.0E+24	-3.0E+24	1.5E+23	-5.4E+23	-3.8E+23	-4.1E+24
		Mtp	4.2E+24	2.3E+24	-1.2E+24	5.5E+23	9.6E+23	-8.8E+24
Plano nodal 1		Rumbo	284	287	37	145	149	190
		Echado	27	28	86	77	76	44
		Deslizamiento	70	72	-1	173	-179	-56
Plano nodal 2		Rumbo	126	127	127	236	58	326
		Echado	65	63	89	84	89	55
		Deslizamiento	100	99	-176	13	-14	-118
		Momento escalar	1.4E+25	7.1E+24	4.1E+24	1.5E+24	2.1E+24	3.1E+25

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2012-09-29	2012-10-08	2012-11-07	2012-11-07	2012-11-11	2012-11-15	
		Hora UTC	07:11:10	06:26:21	16:35:50	22:42:45	22:14:57	09:20:22	
		Magnitud	5.5	5.7	7.3	5.5	6.2	6.1	
		Latitud	15.8823	25.155	14.0272	13.7858	13.8108	18.1832	
		Longitud	-98.6685	-109.689	-92.3155	-92.5287	-92.5032	-100.529	
		Profundidad	16.9	10	17.1	5	6.6	45.4	
USGS		Magnitud	6.3	5.5	5.9	7.4	5.7	6.5	
		Porcentaje DC	56	84	91	99	80	97	
		Half Duration	3.3	1.4	2.4	11.4	1.7	4.4	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-2.6E+18	-1.2E+16	-5.0E+16	1.0E+20	2.8E+17	3.3E+18	
		Mtt	-6.8E+17	-2.0E+17	-1.2E+18	-8.0E+19	-2.0E+17	-3.0E+18	
		Mpp	3.2E+18	2.1E+17	1.2E+18	-2.2E+19	-8.6E+16	-3.6E+17	
		Mrt	3.1E+17	-2.1E+16	-3.0E+16	6.9E+19	2.9E+17	4.2E+18	
		Mrp	9.0E+17	4.1E+16	1.0E+17	-4.1E+19	-1.6E+17	-2.2E+18	
		Mtp	-1.0E+18	-5.4E+16	-2.4E+17	4.1E+19	8.1E+16	1.2E+18	
	Plano nodal 1	Rumbo	330	307	309	295	298	287	
		Echado	40	86	88	26	19	18	
		Deslizamiento	-114	169	176	86	89	81	
	Plano nodal 2	Rumbo	180	38	39	119	118	116	
		Echado	54	79	86	64	71	72	
		Deslizamiento	-71	4	2	92	90	93	
		Momento escalar	3.2E+18	2.2E+17	1.2E+18	1.3E+20	4.2E+17	5.8E+18	
	GCMT		Half Duration	1.1	2.4	11.9	1.7	4	2.6
			Time-shift	1.2	2	9.6	1.5	7	1.6
Mw			5.3	6	7.4	5.7	6.4	6.1	
Componentes del tensor de momento		Mrr	9.6E+23	-4.0E+23	1.1E+27	3.3E+24	3.3E+25	-1.5E+25	
		Mtt	-8.7E+23	-1.1E+25	-8.8E+26	-2.6E+24	-3.0E+25	1.4E+25	
		Mpp	-8.0E+22	1.2E+25	-2.3E+26	-7.3E+23	-2.5E+24	1.2E+24	
		Mrt	6.2E+23	-2.2E+24	7.9E+26	2.8E+24	3.7E+25	-4.0E+24	
		Mrp	-5.8E+23	-8.0E+23	-5.3E+26	-1.3E+24	-2.2E+25	-4.0E+23	
		Mtp	2.7E+23	-2.2E+24	4.1E+26	8.4E+23	1.2E+25	-5.4E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	273	130	291	289	282	297	
		Echado	27	80	25	23	20	39	
		Deslizamiento	63	-174	81	86	74	-80	
Plano nodal 2		Rumbo	123	39	121	114	119	104	
		Echado	66	84	65	67	71	52	
		Deslizamiento	103	-10	94	92	96	-98	
		Momento escalar	1.3E+24	1.2E+25	1.4E+27	4.4E+24	5.5E+25	1.6E+25	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2012-12-14	2013-01-13	2013-02-20	2013-03-25	2013-03-26	2013-04-22	
		Hora UTC	10:36:04	16:28:25	21:23:09	23:02:13	13:04:47	01:16:34	
		Magnitud	6.4	5.5	5.6	6.1	5.5	5.9	
		Latitud	31.1935	25.913	18.5043	14.383	15.8608	17.8568	
		Longitud	-119.415	-110.32	-103.989	-90.788	-98.433	-102.28	
		Profundidad	15.9	15	3.2	197	5.3	40.5	
USGS		Magnitud	6.1	6.3	5.7	5.6	6.2	5.3	
		Porcentaje DC	85	70	100	90	74		
		Half Duration	2.7	3.8	1.7				
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-1.6E+18	-4.2E+18	4.0E+15	2.6E+17	6.7E+17		
		Mtt	1.5E+18	7.0E+17	-4.4E+17	-2.1E+17	-1.3E+18		
		Mpp	4.0E+16	3.5E+18	4.4E+17	-4.8E+16	6.0E+17		
		Mrt	-3.6E+17	-6.2E+17	4.0E+15	1.5E+17	1.5E+18		
		Mrp	-6.0E+16	3.0E+17	4.3E+16	-4.4E+16	-1.8E+18		
		Mtp	-5.7E+17	2.6E+18	-7.6E+16	8.2E+16	-3.0E+16		
	Plano nodal 1	Rumbo	102	42	310	295	239		
		Echado	51	47	85	30	23		
		Deslizamiento	-99	-74	177	95	18		
	Plano nodal 2	Rumbo	296	200	40	110	132		
		Echado	40	46	87	61	83		
		Deslizamiento	-80	-106	5	87	112		
		Momento escalar	1.7E+18	4.7E+18	4.5E+17	3.0E+17	2.5E+18		
	GCMT		Half Duration	3.7	1.7	1.5	3.1	1.2	2.7
			Time-shift	3.1	1.6	4	2.7	4.6	2.5
Mw			6.4	5.7	5.6	6.2	5.4	6.1	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-4.0E+25	0.0E+00	2.4E+24	7.3E+24	8.2E+23	1.3E+25	
		Mtt	9.0E+24	-4.3E+24	-1.9E+24	-1.5E+25	-7.7E+23	-1.0E+25	
		Mpp	3.1E+25	4.3E+24	-4.9E+23	7.3E+24	-5.0E+22	-2.6E+24	
		Mrt	-5.3E+24	-7.9E+23	1.4E+24	1.5E+25	8.7E+23	-6.9E+24	
		Mrp	-7.6E+24	-3.6E+23	-7.5E+23	-1.8E+25	-7.3E+23	6.4E+24	
		Mtp	2.6E+25	-7.7E+23	1.1E+24	-3.0E+23	2.6E+23	7.3E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	213	130	297	237	273	113	
		Echado	39	80	29	26	21	29	
		Deslizamiento	-91	-175	89	18	59	77	
Plano nodal 2		Rumbo	34	40	119	131	125	308	
		Echado	51	85	61	82	72	62	
		Deslizamiento	-90	-10	91	115	101	97	
		Momento escalar	4.5E+25	4.4E+24	2.9E+24	2.7E+25	1.4E+24	1.7E+25	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2013-06-16	2013-08-06	2013-08-21	2013-09-07	2013-09-26	2013-10-19	
		Hora UTC	05:19:02	05:57:43	12:38:29	00:13:28	06:46:01	17:54:55	
		Magnitud	5.8	5.7	6	6	5.6	6.3	
		Latitud	18.113	14.1845	16.7527	14.3368	13.9342	26.0867	
		Longitud	-99.2283	-91.5988	-99.5812	-92.2562	-93.6337	-110.461	
		Profundidad	55.1	61	5	69.7	7.6	14.1	
USGS		Magnitud	6	5.8	5.6	6.2	6.4	5.5	
		Porcentaje DC	86	95	56	95	94	98	
		Half Duration							
	Componentes del tensor de momento	Mrr	1.3E+18	-4.5E+17	2.7E+17	1.3E+18	-1.8E+17	2.6E+17	
		Mtt	-7.8E+17	4.1E+17	-9.9E+15	-1.1E+18	-5.0E+17	-1.9E+17	
		Mpp	-5.2E+17	3.9E+16	-2.6E+17	-2.6E+17	6.8E+17	-6.9E+16	
		Mrt	-4.0E+17	-4.6E+17	-4.6E+15	1.4E+18	4.3E+18	2.7E+17	
		Mrp	2.9E+17	1.0E+17	-2.5E+16	-1.1E+18	-3.1E+18	-2.0E+17	
		Mtp	5.4E+17	-1.6E+17	1.3E+17	4.9E+17	-4.7E+17	1.1E+17	
	Plano nodal 1	Rumbo	307	105	295	287	205	296	
		Echado	56	68	43	19	8	19	
		Deslizamiento	89	-94	77	74	-11	80	
	Plano nodal 2	Rumbo	129	296	133	124	306	126	
		Echado	34	23	49	72	89	71	
		Deslizamiento	91	-80	102	96	-98	93	
		Momento escalar	1.4E+18	6.5E+17	2.9E+17	2.2E+18	5.4E+18	4.2E+17	
	GCMT		Half Duration	2.1	1.3	3	4	1.6	4.7
			Time-shift	4	0.4	6.3	7.7	3.5	9
Mw			5.9	5.5	6.2	6.4	5.7	6.6	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-6.6E+24	1.9E+24	1.5E+25	1.2E+24	2.4E+24	0.0E+00	
		Mtt	5.2E+24	-1.4E+24	-1.3E+25	-1.5E+25	-1.7E+24	-8.8E+25	
		Mpp	1.4E+24	-4.7E+23	-1.8E+24	1.3E+25	-7.1E+23	8.8E+25	
		Mrt	-3.6E+24	3.7E+23	1.4E+25	4.1E+25	2.1E+24	-1.0E+24	
		Mrp	7.0E+23	-3.6E+23	-9.6E+24	-3.6E+25	-2.1E+24	-1.1E+25	
		Mtp	-3.4E+24	1.1E+24	4.9E+24	-2.1E+24	1.0E+24	-9.0E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	311	300	281	223	294	132	
		Echado	33	38	22	15	20	84	
		Deslizamiento	-73	85	71	2	74	176	
Plano nodal 2		Rumbo	111	127	121	131	131	222	
		Echado	59	52	69	89	71	86	
		Deslizamiento	-100	94	97	105	96	6	
		Momento escalar	7.8E+24	2.0E+24	2.2E+25	5.6E+25	3.8E+24	8.9E+25	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2014-01-11	2014-03-02	2014-03-10	2014-03-22	2014-04-18	2014-05-08	
		Hora UTC	13:10:50	22:17:15	00:37:57	00:58:12	14:27:21	17:00:14	
		Magnitud	5.5	5.7	5.8	5.6	7.2	6.5	
		Latitud	14.4485	14.0745	15.8347	30.3902	17.011	16.986	
		Longitud	-92.2465	-93.238	-98.477	-114.084	-101.46	-100.916	
		Profundidad	78.5	11.7	4.8	17.1	18	10	
USGS		Magnitud	6.6	5.5	6	5.8	5.3	7.2	
		Porcentaje DC	89	74	97	79	51	89	
		Half Duration							
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-4.0E+17	-8.3E+16	6.5E+17	3.8E+17	-7.6E+16	5.6E+19	
		Mtt	-1.0E+19	1.3E+16	-5.4E+17	-2.8E+17	1.2E+16	-4.1E+19	
		Mpp	1.1E+19	7.0E+16	-1.1E+17	-9.7E+16	6.4E+16	-1.5E+19	
		Mrt	-4.2E+18	2.6E+17	1.1E+18	4.7E+17	5.0E+16	6.1E+19	
		Mrp	-2.8E+18	-1.9E+17	-3.2E+17	-1.4E+17	-2.0E+16	-2.4E+19	
		Mtp	-9.0E+17	-1.0E+17	2.3E+17	8.2E+16	3.2E+16	2.0E+19	
	Plano nodal 1	Rumbo	41	174	299	292	1	302	
		Echado	85	14	15	18	50	20	
		Deslizamiento	-25	-42	102	94	-127	99	
	Plano nodal 2	Rumbo	134	305	107	108	231	113	
		Echado	65	81	75	72	52	70	
		Deslizamiento	-174	-100	87	89	-54	87	
		Momento escalar	1.1E+19	3.4E+17	1.3E+18	6.0E+17	9.5E+16	8.5E+19	
	GCMT		Half Duration	1.5	2.4	1.9	1.2	10.5	4.2
			Time-shift	0.9	6.6	3.6	3.3	11.1	5.2
Mw			5.6	6	5.8	5.4	7.3	6.5	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-6.4E+23	7.1E+24	4.7E+24	-1.3E+24	6.1E+26	4.2E+25	
		Mtt	-5.0E+22	-6.0E+24	-4.2E+24	3.0E+22	-4.4E+26	-3.5E+25	
		Mpp	7.0E+23	-1.1E+24	-4.8E+23	1.3E+24	-1.7E+26	-7.3E+24	
		Mrt	2.2E+24	8.1E+24	3.4E+24	-2.6E+23	7.4E+26	3.9E+25	
		Mrp	-1.7E+24	-5.8E+24	-1.8E+24	-4.8E+23	-3.3E+26	-2.4E+25	
		Mtp	-1.1E+24	2.1E+24	9.7E+23	6.5E+23	2.3E+26	1.6E+25	
Plano nodal 1		Rumbo	181	281	276	200	303	289	
		Echado	16	30	26	35	18	22	
		Deslizamiento	-36	74	76	-94	98	80	
Plano nodal 2		Rumbo	306	124	112	25	115	120	
		Echado	81	61	65	55	72	69	
		Deslizamiento	-103	99	97	-87	87	94	
		Momento escalar	3.0E+24	1.7E+24	5.9E+24	1.6E+24	1.0E+27	6.2E+25	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2014-05-10	2014-05-21	2014-05-24	2014-05-31	2014-07-07	2014-07-29	
		Hora UTC	07:36:00	10:06:15	08:24:46	11:53:49	11:23:59	10:46:15	
		Magnitud	6.1	5.8	5.7	6.2	6.9	6.4	
		Latitud	17.036	17.1215	16.2002	18.9967	14.6502	17.6988	
		Longitud	-100.893	-95.0733	-98.4073	-107.33	-92.5572	-95.6373	
		Profundidad	10	120.3	4.5	10	56.7	117.2	
USGS		Magnitud	6.4	6	5.8	5.7	6.2	6.9	
		Porcentaje DC	90	73	90	97	88	82	
		Half Duration							
	Componentes del tensor de momento	Mrr	3.6E+18	9.0E+17	-2.8E+17	1.8E+17	-4.2E+16	-2.2E+19	
		Mtt	-2.0E+18	-5.2E+17	1.3E+16	-1.1E+17	-1.4E+18	6.7E+18	
		Mpp	-1.5E+18	-3.8E+17	2.6E+17	-7.2E+16	1.5E+18	1.5E+19	
		Mrt	2.3E+18	8.6E+17	3.5E+17	3.5E+17	-5.3E+17	1.5E+19	
		Mrp	-1.4E+18	-3.5E+17	-3.4E+17	-2.1E+17	-5.7E+17	-1.6E+19	
		Mtp	1.6E+18	2.8E+17	-1.6E+17	8.3E+16	-1.5E+18	-1.4E+19	
	Plano nodal 1	Rumbo	315	313	175	316	21	150	
		Echado	26	21	19	12	84	24	
		Deslizamiento	99	105	-54	104	-19	-80	
	Plano nodal 2	Rumbo	125	117	317	122	113	319	
		Echado	64	69	75	78	71	67	
		Deslizamiento	85	84	-102	87	-174	-94	
		Momento escalar	4.4E+18	1.3E+18	5.9E+17	4.5E+17	2.2E+18	3.3E+19	
	GCMT		Half Duration	2.7	1.9	1.7	3	6.9	3.7
			Time-shift	4.1	-1.2	1.6	3.4	4.6	3.5
Mw			6.1	5.8	5.7	6.2	6.9	6.4	
Componentes del tensor de momento		Mrr	1.1E+25	-3.0E+24	2.0E+24	-1.6E+24	-2.1E+26	-4.0E+25	
		Mtt	-9.5E+24	5.5E+23	-1.8E+24	-1.5E+25	7.7E+25	1.0E+25	
		Mpp	-1.6E+24	2.5E+24	-2.4E+23	1.6E+25	1.3E+26	2.9E+25	
		Mrt	1.0E+25	3.0E+24	3.5E+24	-8.0E+23	1.2E+26	7.9E+24	
		Mrp	-6.2E+24	-3.0E+24	-2.3E+24	5.0E+23	-1.2E+26	-1.4E+25	
		Mtp	3.7E+24	-2.5E+24	6.1E+23	-1.8E+25	-1.4E+26	-2.5E+25	
Plano nodal 1		Rumbo	285	160	279	20	146	143	
		Echado	22	22	13	88	27	35	
		Deslizamiento	77	-67	68	0	-82	-93	
Plano nodal 2		Rumbo	119	316	122	290	317	327	
		Echado	69	70	78	90	63	55	
		Deslizamiento	95	-99	95	178	-94	-88	
		Momento escalar	1.6E+25	5.6E+24	4.6E+24	2.4E+25	2.8E+26	4.6E+25	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2014-09-06	2014-09-08	2014-10-04	2014-10-08	2014-10-11	2014-12-07	
		Hora UTC	19:22:58	20:30:38	19:16:36	02:40:49	16:46:02	21:16:35	
		Magnitud	5.9	5.5	5.6	6.1	5.6	6.1	
		Latitud	18.687	16.1178	17.4185	23.6963	16.027	13.6777	
		Longitud	-106.952	-98.3397	-94.822	-108.755	-95.6517	-91.4385	
		Profundidad	10	8	145.8	10	10	32	
USGS		Magnitud	5.5	6.2		5.6	6.1	5.5	
		Porcentaje DC	89	82		72	85	92	
		Half Duration							
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-1.7E+16	-1.2E+17		-2.2E+17	-9.4E+16	-5.1E+16	
		Mtt	-1.7E+17	-1.3E+18		-8.1E+16	-1.6E+18	-6.0E+16	
		Mpp	1.9E+17	1.4E+18		3.0E+17	1.7E+18	1.1E+17	
		Mrt	-4.1E+16	2.0E+16		1.3E+17	6.3E+17	1.9E+17	
		Mrp	1.6E+16	-5.1E+17		-7.0E+15	4.6E+16	-7.9E+16	
		Mtp	-6.3E+16	-1.5E+18		-1.6E+17	-3.2E+17	-8.0E+16	
	Plano nodal 1	Rumbo	126	201		191	218	196	
		Echado	86	86		50	76	30	
		Deslizamiento	-167	12		-42	-14	-14	
	Plano nodal 2	Rumbo	35	111		311	311	298	
		Echado	77	78		59	76	83	
		Deslizamiento	-4	176		-131	-165	-119	
		Momento escalar	2.0E+17	2.1E+18		3.4E+17	1.8E+18	2.4E+17	
	GCMT		Half Duration	2.8	0.7	1.6	2.7	1.4	2.6
			Time-shift	8.9	-0.6	1.8	3	3.2	4.2
Mw			6.1	4.9	5.6	6.1	5.5	6.1	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-7.0E+23	-1.9E+23	-2.5E+24	-1.2E+24	-4.6E+23	1.0E+25	
		Mtt	-1.2E+25	1.9E+23	-1.4E+23	-1.6E+25	-5.1E+23	-6.7E+24	
		Mpp	1.3E+25	-2.0E+21	2.7E+24	1.7E+25	9.7E+23	-3.7E+24	
		Mrt	6.0E+23	7.3E+22	1.8E+24	-1.9E+24	1.8E+24	7.5E+24	
		Mrp	7.0E+23	-2.5E+23	-4.6E+23	-4.0E+23	-8.3E+23	-7.7E+24	
		Mtp	-1.5E+25	8.5E+22	-1.8E+24	-4.7E+24	-6.8E+23	5.5E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	290	275	181	127	196	301	
		Echado	87	48	41	85	27	23	
		Deslizamiento	-179	-39	-45	-175	-14	78	
Plano nodal 2		Rumbo	200	33	308	37	299	133	
		Echado	89	62	62	85	84	68	
		Deslizamiento	-3	-131	-122	-5	-117	95	
		Momento escalar	2.0E+25	3.1E+23	3.7E+24	1.8E+25	2.2E+24	1.5E+25	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2015-01-12	2015-01-20	2015-02-12	2015-02-22	2015-04-28	2015-05-10	
		Hora UTC	07:57:27	06:59:53	15:50:56	14:23:13	18:56:54	00:50:18	
		Magnitud	5.5	5.5	5.5	6.2	5.6	5.5	
		Latitud	15.3885	14.8515	19.1608	18.643	17.0213	14.5853	
		Longitud	-93.4002	-91.7653	-105.91	-106.955	-95.1868	-94.2418	
		Profundidad	86.4	161.8	15	16	112.9	10	
USGS		Magnitud	6.1	5.5	5.5	5.5	6.2	5.5	
		Porcentaje DC	93	67	68	12	94	48	
		Half Duration							
	Componentes del tensor de momento	Mrr	9.2E+17	-2.1E+17	2.0E+16	-1.1E+17	-6.4E+16	-1.0E+17	
		Mtt	-6.1E+17	1.1E+17	-6.0E+16	-1.2E+16	-1.3E+18	-9.2E+16	
		Mpp	-3.2E+17	9.6E+16	4.0E+16	1.2E+17	1.4E+18	1.9E+17	
		Mrt	9.7E+17	9.2E+16	1.1E+17	-4.5E+16	-4.7E+17	4.5E+16	
		Mrp	-8.0E+17	-3.2E+16	-2.0E+17	6.9E+16	-6.1E+17	3.7E+16	
		Mtp	5.0E+17	-7.0E+16	-6.6E+15	-2.1E+17	-2.2E+18	-1.3E+17	
	Plano nodal 1	Rumbo	304	138	240	278	15	298	
		Echado	19	33	10	77	84	64	
		Deslizamiento	85	-77	1	177	-15	-156	
	Plano nodal 2	Rumbo	129	303	149	9	107	197	
		Echado	71	58	90	87	75	69	
		Deslizamiento	92	-98	100	13	-174	-28	
		Momento escalar	1.6E+18	2.2E+17	2.4E+17	2.5E+17	2.7E+18	2.2E+17	
	GCMT		Half Duration	1.4	1.4	1.3	3.2	1.4	1.4
			Time-shift	1	1.9	-2.2	3.9	2.1	1.4
Mw			5.5	5.5	5.5	6.2	5.5	5.5	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-1.9E+24	1.1E+23	-9.5E+23	-2.1E+24	-1.3E+24	1.6E+24	
		Mtt	1.2E+24	-6.9E+23	-9.0E+22	-1.4E+25	-7.2E+23	-2.1E+24	
		Mpp	7.1E+23	5.8E+23	1.0E+24	1.7E+25	2.0E+24	4.2E+23	
		Mrt	8.0E+23	1.1E+24	2.4E+23	1.0E+23	1.2E+24	1.4E+24	
		Mrp	-3.5E+23	-1.8E+24	3.8E+23	5.0E+23	-1.0E+22	7.2E+23	
		Mtp	-1.1E+24	-1.2E+23	-1.8E+24	-2.4E+25	-1.3E+24	-3.9E+23	
Plano nodal 1		Rumbo	136	232	283	286	193	279	
		Echado	34	14	67	89	54	28	
		Deslizamiento	-79	-3	-159	-180	-32	118	
Plano nodal 2		Rumbo	302	325	184	196	304	68	
		Echado	57	89	71	90	65	66	
		Deslizamiento	-97	-104	-25	-1	-139	76	
		Momento escalar	2.1E+24	2.2E+24	2.0E+24	2.9E+25	2.5E+24	2.5E+24	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2015-06-28	2015-08-05	2015-09-08	2015-09-13	2015-09-13	2015-09-30	
		Hora UTC	15:54:41	09:13:24	08:03:53	07:57:35	08:14:09	17:25:54	
		Magnitud	5.6	5.8	5.6	5.6	6.6	5.5	
		Latitud	16.5138	16.0297	14.337	24.972	25.0352	17.8388	
		Longitud	-94.896	-93.9455	-94.1372	-109.429	-109.533	-101.523	
		Profundidad	88.2	89	5	10	8.2	49.5	
USGS		Magnitud	5.6	5.4	5.7	5.7	5.6	6.7	
		Porcentaje DC	86	80	82	91	98	78	
		Half Duration							
	Componentes del tensor de momento	Mrr	1.5E+17	-9.5E+16	-3.2E+17	3.1E+17	2.0E+16	3.5E+17	
		Mtt	-1.7E+17	-2.8E+16	-1.2E+16	-1.8E+17	-3.1E+17	-1.2E+19	
		Mpp	1.7E+16	1.2E+17	3.3E+17	-1.3E+17	2.9E+17	1.1E+19	
		Mrt	2.5E+17	1.1E+17	1.0E+17	2.3E+17	-3.2E+16	-3.2E+18	
		Mrp	4.5E+16	-7.2E+16	-2.2E+17	-2.2E+17	8.3E+16	5.4E+18	
		Mtp	-3.1E+16	-7.1E+16	-1.1E+17	1.4E+17	-7.4E+16	-2.4E+18	
	Plano nodal 1	Rumbo	262	189	171	308	307	308	
		Echado	16	33	28	22	81	83	
		Deslizamiento	91	-36	-78	85	166	154	
	Plano nodal 2	Rumbo	80	311	338	133	39	41	
		Echado	74	71	63	68	76	64	
		Deslizamiento	90	-117	-96	92	9	8	
		Momento escalar	3.0E+17	1.8E+17	4.2E+17	4.4E+17	3.2E+17	1.3E+19	
	GCMT		Half Duration	1.2	1.7	1.9	1.6	4.9	1.3
			Time-shift	1.3	0	4.5	-0.4	4.2	3.45
Mw			5.4	5.7	5.8	5.6	6.6	5.4	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-5.7E+23	-3.1E+24	3.5E+24	-2.8E+23	-3.0E+24	-1.0E+24	
		Mtt	-9.8E+23	-6.2E+23	-2.1E+24	-3.1E+24	-9.6E+25	9.8E+23	
		Mpp	1.6E+24	3.7E+24	-1.5E+24	3.4E+24	9.9E+25	3.0E+22	
		Mrt	7.8E+23	9.2E+23	3.1E+24	-7.0E+23	-1.0E+24	-1.0E+24	
		Mrp	-2.5E+23	-2.2E+24	-3.9E+24	-2.9E+23	-2.0E+24	1.0E+24	
		Mtp	2.9E+23	-1.4E+24	1.5E+24	-8.0E+23	-1.6E+25	-2.3E+23	
Plano nodal 1		Rumbo	213	170	303	129	130	266	
		Echado	57	29	18	78	89	22	
		Deslizamiento	-22	-80	74	-173	-180	-129	
Plano nodal 2		Rumbo	315	339	139	37	40	127	
		Echado	72	62	73	83	90	74	
		Deslizamiento	-145	-95	95	-12	-1	-76	
		Momento escalar	1.6E+24	4.3E+24	6.0E+24	3.4E+24	9.9E+25	1.8E+14	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2015-11-23	2015-12-17	2016-01-21	2016-04-10	2016-04-15	2016-04-25	
		Hora UTC	20:41:22	19:49:54	18:06:58	07:11:20	14:11:24	07:07:12	
		Magnitud	5.6	6.6	6.5	5.5	6.1	6	
		Latitud	16.8895	15.7558	18.8158	15.7297	13.2542	14.535	
		Longitud	-98.8985	-93.7005	-106.977	-96.347	-92.458	-93.2128	
		Profundidad	25.6	91.4	10	37.3	12	10.4	
USGS		Magnitud	5.4	5.6	6.6	5.5	5.5	6.1	
		Porcentaje DC	71	88	98	82	66	87	
		Half Duration		2.5	4.1	5.2	4	5	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-1.1E+17	2.6E+17	2.9E+17	-1.9E+16	1.4E+17	-1.2E+18	
		Mtt	7.8E+16	-2.6E+17	1.6E+17	-8.5E+16	-1.9E+17	6.8E+17	
		Mpp	3.3E+16	-2.2E+15	2.6E+18	1.0E+17	4.7E+16	5.1E+17	
		Mrt	-8.5E+16	-8.9E+16	6.1E+18	6.5E+15	-1.1E+17	5.0E+17	
		Mrp	7.7E+16	9.2E+16	-5.7E+18	-4.0E+16	3.4E+16	-8.0E+17	
		Mtp	-2.7E+16	3.5E+16	-1.5E+18	1.8E+17	-1.5E+16	-5.3E+17	
	Plano nodal 1	Rumbo	290	293	176	256	281	321	
		Echado	21	57	12	78	64	65	
		Deslizamiento	-106	107	-49	-1	106	-81	
	Plano nodal 2	Rumbo	127	84	314	346	68	122	
		Echado	69	36	81	89	31	27	
		Deslizamiento	-84	66	-98	-168	60	-107	
		Momento escalar	1.5E+17	2.9E+17	8.8E+18	2.1E+17	2.1E+17	1.5E+18	
	GCMT		Half Duration	1.6	4.7	4.6	1.3	2.5	2.4
			Time-shift	1.9	2.7	4.4	1.1	1.3	3.1
Mw			5.6	6.6	6.6	5.5	6	6	
Componentes del tensor de momento		Mrr	2.6E+24	-3.3E+25	-5.7E+24	9.5E+23	-1.3E+25	7.5E+24	
		Mtt	-2.9E+24	4.8E+24	-4.9E+25	-1.6E+24	8.1E+24	-5.7E+24	
		Mpp	2.7E+23	2.8E+25	5.5E+25	6.1E+23	4.8E+24	-1.8E+24	
		Mrt	-1.4E+24	5.8E+25	2.0E+24	-1.5E+24	-1.4E+24	6.4E+24	
		Mrp	1.1E+24	-5.2E+25	-3.3E+24	6.4E+23	1.7E+24	-6.0E+24	
		Mtp	1.0E+22	-2.4E+25	-6.8E+25	-6.0E+22	-7.0E+24	2.9E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	71	169	199	57	306	289	
		Echado	35	15	88	27	40	21	
		Deslizamiento	57	-55	1	39	-94	71	
Plano nodal 2		Rumbo	290	313	109	292	131	129	
		Echado	61	78	89	74	50	70	
		Deslizamiento	111	-99	178	111	-87	97	
		Momento escalar	3.3E+24	8.7E+25	8.5E+25	2.1E+24	1.3E+25	1.1E+25	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2016-04-27	2016-04-29	2016-05-05	2016-05-07	2016-05-08	2016-06-02	
		Hora UTC	12:51:18	01:33:39	22:27:07	00:18:35	07:33:59	02:23:07	
		Magnitud	6	6.6	5.5	5.6	6	5.6	
		Latitud	14.2902	10.271	18.7077	18.3317	16.323	18.1385	
		Longitud	-93.3883	-103.715	-106.873	-105.4	-97.8773	-105.698	
		Profundidad	20	10	5	5	7.4	6.2	
USGS		Magnitud	6	6	6.6	5.4	5.6	5.8	
		Porcentaje DC	92	80	80	92	68	89	
		Half Duration	5	4	10			4	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	7.6E+17	8.7E+17	-1.5E+18	4.0E+14	6.1E+16	4.2E+17	
		Mtt	-5.5E+17	-5.4E+17	-3.4E+18	-9.1E+16	1.5E+17	-3.3E+17	
		Mpp	-2.1E+17	-3.4E+17	4.9E+18	9.1E+16	-2.1E+17	-8.6E+16	
		Mrt	8.0E+17	8.9E+17	-2.7E+18	-4.3E+14	1.8E+16	4.1E+17	
		Mrp	-2.5E+17	-3.9E+17	-1.7E+17	-4.8E+16	-5.4E+16	-3.9E+17	
		Mtp	3.0E+17	3.1E+17	1.0E+19	-1.3E+17	-2.7E+17	1.5E+17	
	Plano nodal 1	Rumbo	308	312	78	198	163	284	
		Echado	22	21	86	86	87	19	
		Deslizamiento	106	104	-15	16	11	66	
	Plano nodal 2	Rumbo	111	117	169	106	73	130	
		Echado	69	70	75	74	79	73	
		Deslizamiento	84	85	-176	176	117	98	
		Momento escalar	1.1E+18	1.3E+18	1.1E+19	1.7E+17	3.3E+17	7.0E+17	
	GCMT		Half Duration	2.4	4.9	1.4	1.5	2.1	1.8
			Time-shift	3.6	4	1.7	1.2	2.6	2.1
Mw			6	6.6	5.5	5.5	5.9	5.8	
Componentes del tensor de momento		Mrr	9.5E+24	-3.0E+24	-1.8E+23	-4.8E+23	4.2E+24	-5.5E+23	
		Mtt	-7.0E+24	-4.2E+25	-1.2E+24	8.4E+23	-3.0E+24	-4.8E+23	
		Mpp	-2.5E+24	4.4E+25	1.4E+24	-3.6E+23	-1.2E+24	1.0E+24	
		Mrt	5.7E+24	-1.0E+24	-1.5E+23	2.9E+23	5.4E+24	3.1E+23	
		Mrp	-5.0E+24	-3.0E+24	9.0E+22	2.0E+22	-4.6E+24	1.1E+24	
		Mtp	3.4E+24	9.5E+25	-1.7E+24	-2.6E+24	1.6E+24	-5.3E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	292	258	19	173	294	274	
		Echado	26	89	86	83	15	78	
		Deslizamiento	77	1	0	-2	75	-176	
Plano nodal 2		Rumbo	126	168	289	264	129	184	
		Echado	65	89	90	88	75	86	
		Deslizamiento	96	179	176	-173	94	-12	
		Momento escalar	1.2E+25	1.0E+26	2.2E+24	2.6E+24	8.2E+24	5.4E+24	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2016-06-07	2016-06-07	2016-06-27	2016-10-23	2017-03-29	2017-05-20	
		Hora UTC	10:51:36	10:57:59	20:50:31	22:59:29	15:15:25	06:02:13	
		Magnitud	6.1	5.5	5.7	5.6	5.5	5.6	
		Latitud	18.2838	18.4083	16.208	18.821	25.7915	17.4888	
		Longitud	-105.306	-105.349	-98.003	-104.742	-110.104	-105.463	
		Profundidad	8.7	11.6	4.4	13.5	16	10	
USGS		Magnitud	5.8	6.3	5.5	5.7	5.6	5.7	
		Porcentaje DC	93	78	62	99	70	93	
		Half Duration	6	3.3	1.4	2.8	3	2.1	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-1.4E+17	2.0E+17	-4.4E+16	1.2E+17	1.7E+17	-1.4E+16	
		Mtt	1.5E+16	-4.5E+17	6.2E+16	-8.8E+16	-9.5E+16	-3.6E+17	
		Mpp	1.3E+17	2.5E+17	-1.8E+16	-3.2E+16	-7.9E+16	3.8E+17	
		Mrt	9.2E+16	-3.7E+17	-2.3E+16	4.0E+17	1.9E+17	2.3E+16	
		Mrp	3.4E+17	-1.2E+18	4.2E+16	-1.6E+17	-1.3E+17	2.2E+16	
		Mtp	-6.2E+17	-2.8E+18	-2.2E+17	5.9E+16	4.2E+16	-8.1E+16	
	Plano nodal 1	Rumbo	275	4	265	312	311	309	
		Echado	60	88	79	8	17	85	
		Deslizamiento	-168	-23	178	110	95	-179	
	Plano nodal 2	Rumbo	179	94	355	113	125	219	
		Echado	80	67	88	82	73	89	
		Deslizamiento	-30	-178	11	87	88	-5	
		Momento escalar	7.2E+17	3.1E+18	2.3E+17	4.5E+17	2.8E+17	3.8E+17	
	GCMT		Half Duration	3.3	1.4	1.5	1.4	1.6	1.6
			Time-shift	2.6	4.1	1.2	3.2	4.6	1.2
Mw			6.3	5.5	5.6	5.5	5.6	5.6	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-1.6E+24	-3.8E+23	1.5E+24	1.8E+24	1.0E+22	-3.6E+23	
		Mtt	-1.9E+24	5.1E+23	-1.2E+24	-1.1E+24	-3.5E+24	-2.4E+24	
		Mpp	3.4E+24	-1.3E+23	-3.3E+23	-6.9E+23	3.5E+24	2.8E+24	
		Mrt	3.5E+24	1.2E+23	2.1E+24	1.3E+24	-1.7E+23	-6.0E+22	
		Mrp	-2.3E+24	5.2E+23	-1.2E+24	-6.9E+23	2.4E+23	4.0E+23	
		Mtp	-3.2E+25	-2.1E+24	5.5E+23	1.1E+24	-8.5E+23	-2.1E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	183	266	293	319	38	296	
		Echado	84	75	16	27	86	85	
		Deslizamiento	3	-172	83	105	1	177	
Plano nodal 2		Rumbo	92	174	120	122	308	26	
		Echado	87	83	74	64	89	87	
		Deslizamiento	174	-15	92	82	176	5	
		Momento escalar	3.2E+25	2.2E+24	2.8E+24	2.4E+24	3.6E+24	3.3E+24	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2017-05-20	2017-06-10	2017-06-14	2017-06-14	2017-09-08	2017-09-09	
		Hora UTC	17:58:47	18:47:30	06:38:47	07:29:04	04:49:17	04:54:49	
		Magnitud	5.7	5.5	5.6	6.9	8.2	5.6	
		Latitud	17.0312	13.9832	13.9842	14.7282	14.761	14.7448	
		Longitud	-94.2065	-93.2508	-93.3278	-92.3167	-94.103	-94.0787	
		Profundidad	148	9.8	10	107.1	45.9	23.4	
USGS		Magnitud	5.7	5.7	5.5	5.5	5.5	5.5	
		Porcentaje DC	87	86	82	78	98	97	
		Half Duration	1.88	1.89	1	1.63	1.55	1.46	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-4.8E+16	-2.9E+17	1.9E+17	2.1E+17	-2.5E+17	1.9E+16	
		Mtt	-2.6E+17	-1.1E+17	-1.3E+17	-1.4E+17	2.3E+17	-2.1E+16	
		Mpp	3.1E+17	3.9E+17	-5.8E+16	-6.4E+16	2.8E+16	1.7E+15	
		Mrt	-1.5E+17	2.6E+17	1.4E+17	1.0E+17	-5.8E+16	1.4E+17	
		Mrp	5.9E+16	-2.2E+17	-1.3E+17	-5.5E+16	-3.4E+16	-1.8E+17	
		Mtp	-2.1E+17	-1.3E+17	6.5E+16	6.6E+16	7.6E+16	1.6E+16	
	Plano nodal 1	Rumbo	118	196	293	300	254	267	
		Echado	85	33	22	30	38	5	
		Deslizamiento	-155	-39	75	91	-85	35	
	Plano nodal 2	Rumbo	26	320	129	119	68	142	
		Echado	65	70	68	60	52	87	
		Deslizamiento	-6	-117	96	90	-94	94	
		Momento escalar	3.9E+17	5.1E+17	2.6E+17	2.2E+17	2.6E+17	2.3E+17	
	GCMT		Half Duration	1.9	1.3	1.5	7.3	32	1.8
			Time-shift	1.3	3	3.2	3.2	27.5	1.3
Mw			5.8	5.5	5.6	6.9	8.2	5.7	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-3.3E+24	1.4E+24	2.1E+24	-1.5E+26	-1.1E+28	4.2E+23	
		Mtt	-8.5E+23	-1.1E+24	-1.4E+24	8.4E+25	3.6E+27	-2.7E+23	
		Mpp	4.1E+24	-3.3E+23	-6.9E+23	6.3E+25	7.3E+27	-1.5E+23	
		Mrt	3.1E+24	1.2E+24	1.4E+24	2.3E+26	1.8E+28	3.4E+24	
		Mrp	-2.8E+24	-9.8E+23	-1.4E+24	-1.8E+26	-1.9E+28	-3.8E+24	
		Mtp	-1.7E+24	5.6E+23	7.0E+23	-1.1E+26	-6.5E+27	5.0E+22	
Plano nodal 1		Rumbo	190	290	296	137	150	296	
		Echado	30	22	23	15	12	2	
		Deslizamiento	-43	74	76	-83	-78	68	
Plano nodal 2		Rumbo	319	127	131	309	318	138	
		Echado	70	69	68	75	78	88	
		Deslizamiento	-113	96	96	-92	-93	91	
		Momento escalar	5.8E+24	2.1E+24	2.8E+24	3.3E+26	2.8E+28	5.1E+24	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2017-09-10	2017-09-11	2017-09-12	2017-09-18	2017-09-19	2017/09/19	
		Hora UTC	03:07:21	21:09:13	05:08:45	14:19:14	07:53:10	18:14:39	
		Magnitud	5.8	5.6	5.5	5.8	5.6	7.1	
		Latitud	15.2315	14.9798	14.9832	15.2562	14.7978	18.329	
		Longitud	-94.6388	-94.0588	-94.0102	-94.7672	-94.4237	-98.671	
		Profundidad	19.7	16.1	24.6	15	11.7	51.1	
USGS		Magnitud	5.8	5.5	5.4	5.6	5.5	7.1	
		Porcentaje DC	87	84	92	90	61	100	
		Half Duration	1.87	1.38	1.15	1.64	1.34	9.94	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	3.9E+17	1.3E+17	-3.4E+15	-3.1E+17	7.4E+16	-6.3E+19	
		Mtt	-2.2E+17	-1.3E+17	-4.3E+16	1.0E+16	-4.0E+16	5.3E+19	
		Mpp	-1.7E+17	3.8E+15	4.6E+16	3.0E+17	-3.4E+16	9.9E+18	
		Mrt	3.2E+17	1.4E+17	-1.2E+17	3.3E+16	1.0E+17	-5.1E+18	
		Mrp	-2.2E+17	-5.6E+16	1.2E+17	-6.5E+16	-1.6E+17	-4.4E+18	
		Mtp	2.3E+17	4.5E+16	6.4E+15	-9.2E+16	9.5E+16	-2.4E+19	
	Plano nodal 1	Rumbo	318	281	136	166	286	108	
		Echado	24	21	90	39	18	47	
		Deslizamiento	100	81	-104	-86	48	-98	
	Plano nodal 2	Rumbo	127	111	46	341	150	299	
		Echado	67	69	14	51	77	44	
		Deslizamiento	86	93	0	-93	102	-82	
		Momento escalar	5.6E+17	2.0E+17	1.8E+17	3.2E+17	2.2E+17	6.4E+19	
	GCMT		Half Duration	2.1	1.4	1.4	1.8	1.4	9.1
			Time-shift	3.5	1.8	0.1	2.7	-0.2	9.1
Mw			5.9	5.5	5.5	5.7	5.5	7.1	
Componentes del tensor de momento		Mrr	3.5E+24	1.2E+24	-2.7E+23	-3.3E+24	7.9E+23	-6.6E+26	
		Mtt	-2.3E+24	-1.0E+24	-2.6E+23	3.5E+23	-3.9E+23	5.3E+26	
		Mpp	-1.2E+24	-1.9E+23	5.3E+23	2.9E+24	-3.9E+23	1.2E+26	
		Mrt	4.4E+24	1.8E+24	-1.9E+24	2.3E+24	1.1E+24	-4.2E+25	
		Mrp	-5.1E+24	-1.1E+24	1.4E+24	-2.9E+24	-1.8E+24	-4.8E+25	
		Mtp	1.7E+24	2.5E+23	-4.0E+22	-1.1E+24	1.1E+24	-2.4E+26	
Plano nodal 1		Rumbo	296	276	25	172	286	300	
		Echado	15	15	10	23	18	44	
		Deslizamiento	69	68	-13	-66	48	-83	
Plano nodal 2		Rumbo	137	119	128	326	150	109	
		Echado	76	76	88	69	77	46	
		Deslizamiento	95	96	-99	-100	102	-97	
		Momento escalar	7.6E+24	2.4E+24	2.4E+24	4.9E+24	2.4E+24	6.5E+26	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2017-09-23	2017-09-23	2017-09-24	2017-09-29	2017-10-14	2017-11-03	
		Hora UTC	10:38:05	12:53:04	10:06:08	04:00:20	00:20:57	11:52:06	
		Magnitud	5.8	6.1	5.8	5.5	5.5	5.6	
		Latitud	15.2525	16.496	15.0823	14.6185	16.004	18.7108	
		Longitud	-94.586	-95.146	-94.3375	-94.3575	-95.0698	-106.519	
		Profundidad	35	22	15.8	16.1	63.2	16.2	
USGS		Magnitud	5.8	6.1	5.8	5.4	5.5	5.7	
		Porcentaje DC	78	71	83	87	88	67	
		Half Duration	2.13	2.68	2.02	1.12	1.47	1.97	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-4.6E+17	-1.3E+18	1.9E+17	-1.8E+16	-1.5E+17	3.1E+16	
		Mtt	1.8E+17	1.3E+18	-6.0E+17	-4.5E+14	9.2E+15	-1.9E+17	
		Mpp	2.8E+17	-8.4E+15	4.0E+17	1.9E+16	1.4E+17	1.6E+17	
		Mrt	3.8E+17	-5.2E+17	-5.5E+16	1.2E+17	2.8E+15	-8.0E+16	
		Mrp	-2.1E+17	6.3E+16	3.5E+17	-7.6E+16	-1.3E+17	2.3E+17	
		Mtp	-3.4E+17	6.9E+17	8.2E+16	-3.6E+15	-7.8E+16	-3.5E+17	
	Plano nodal 1	Rumbo	156	79	314	180	351	280	
		Echado	28	5	70	5	65	65	
		Deslizamiento	-62	-75	148	-33	-75	166	
	Plano nodal 2	Rumbo	305	234	56	303	138	16	
		Echado	66	38	60	87	29	77	
		Deslizamiento	-104	-110	23	-94	-119	26	
		Momento escalar	6.8E+17	1.6E+18	6.4E+17	1.4E+17	2.2E+17	4.6E+17	
	GCMT		Half Duration	2	2.6	1.9	1.5	1.4	1.6
			Time-shift	0.9	3.1	0.8	2.3	-0.8	0.3
Mw			5.8	6	5.8	5.6	5.5	5.6	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-5.1E+24	-1.2E+25	1.5E+24	1.0E+22	-1.5E+24	-8.0E+22	
		Mtt	2.5E+24	1.3E+25	-5.2E+24	-2.4E+23	1.8E+23	-1.6E+24	
		Mpp	2.6E+24	-7.0E+23	3.7E+24	2.3E+23	1.4E+24	1.7E+24	
		Mrt	3.8E+24	8.0E+23	-1.6E+24	2.2E+24	-5.0E+22	1.3E+23	
		Mrp	-1.5E+24	-3.1E+24	3.7E+24	-1.7E+24	-1.3E+24	3.4E+23	
		Mtp	-3.4E+24	6.9E+24	6.8E+23	-4.0E+22	-1.1E+24	-3.0E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	152	265	56	220	126	284	
		Echado	30	47	51	5	33	84	
		Deslizamiento	-62	-65	16	2	-128	-179	
Plano nodal 2		Rumbo	301	50	315	128	350	194	
		Echado	64	49	77	90	65	89	
		Deslizamiento	-105	-114	140	95	-68	-6	
		Momento escalar	6.9E+24	1.5E+25	6.1E+24	2.8E+24	2.2E+24	3.4E+24	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2018-01-19	2018-02-09	2018-02-16	2018-02-17	2018-02-19	2018-04-11	
		Hora UTC	16:17:45	14:05:48	23:39:39	00:36:51	06:56:58	07:30:38	
		Magnitud	6.3	5.9	7.2	5.9	6	5.5	
		Latitud	26.6672	18.9507	16.218	15.8438	16.2477	15.5382	
		Longitud	-111.079	-104.809	-98.0135	-97.9887	-97.775	-95.0407	
		Profundidad	16.1	3.5	16	24.3	10.2	14.5	
USGS		Magnitud	6.3	5.8	7.2	5.8	5.9	5.5	
		Porcentaje DC	86	95	96	88	91	93	
		Half Duration	3.63	2.05	9.5	1.81	2.28	1.43	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	-2.5E+17	4.0E+17	3.2E+19	3.7E+17	6.2E+17	-2.3E+16	
		Mtt	-3.1E+18	-2.4E+17	-2.7E+19	-3.1E+17	-5.3E+17	-1.8E+17	
		Mpp	3.3E+18	-1.6E+17	-5.3E+18	-5.6E+16	-9.0E+16	2.0E+17	
		Mrt	4.8E+17	4.0E+17	6.6E+19	4.6E+17	5.3E+17	6.3E+16	
		Mrp	6.8E+17	-3.1E+17	-3.1E+19	-5.6E+16	-2.3E+17	4.9E+16	
		Mtp	-7.0E+17	2.1E+17	1.4E+19	8.3E+16	1.6E+17	-2.2E+16	
	Plano nodal 1	Rumbo	309	311	297	292	285	313	
		Echado	76	19	12	19	23	67	
		Deslizamiento	-179	92	91	102	84	-173	
	Plano nodal 2	Rumbo	219	128	116	99	111	220	
		Echado	89	71	78	71	67	84	
		Deslizamiento	-14	89	90	86	92	-23	
		Momento escalar	3.4E+18	6.4E+17	8.0E+19	5.8E+17	8.3E+17	2.1E+17	
	GCMT		Half Duration	3.3	1.9	9.3	2.3	2.2	1.3
			Time-shift	3.2	4.2	6.8	4.9	4.3	2.2
Mw			6.3	5.8	7.2	6	5.9	5.5	
Componentes del tensor de momento		Mrr	-2.0E+24	4.2E+24	3.2E+26	6.1E+24	5.5E+24	-7.0E+22	
		Mtt	-3.0E+25	-2.4E+24	-2.5E+26	-5.6E+24	-4.4E+24	-1.8E+24	
		Mpp	3.2E+25	-1.8E+24	-6.6E+25	-6.0E+23	-1.1E+24	1.9E+24	
		Mrt	-1.0E+24	3.6E+24	5.5E+26	8.9E+24	6.8E+24	1.9E+23	
		Mrp	-4.6E+24	-2.2E+24	-3.0E+26	-8.0E+23	-4.2E+24	-3.0E+22	
		Mtp	-6.1E+24	2.5E+24	1.1E+26	5.0E+23	1.7E+24	-3.3E+23	
Plano nodal 1		Rumbo	129	319	292	276	287	220	
		Echado	83	24	13	17	17	85	
		Deslizamiento	177	104	83	91	78	-3	
Plano nodal 2		Rumbo	220	124	119	95	120	310	
		Echado	87	67	77	73	73	87	
		Deslizamiento	7	84	92	90	94	-175	
		Momento escalar	3.2E+25	6.1E+24	7.0E+26	1.1E+25	9.6E+24	1.9E+24	

		PARÁMETRO							
SSN		Fecha UTC	2018-06-30	2018-07-19	2019-01-21	2019-02-01	2019-04-22	2019-05-31	
		Hora UTC	03:56:49	13:31:55	11:57:19	16:14:12	20:15:23	11:57:26	
		Magnitud	5.9	5.9	5.8	6.5	5.5	5.8	
		Latitud	18.879	17.7213	15.4165	14.5818	15.958	18.6877	
		Longitud	-105.271	-97.8123	-94.9038	-92.4807	-98.6733	-106.975	
		Profundidad	15.7	55.6	18.7	76.2	15.8	10	
USGS		Magnitud	5.9	5.8	5.6	6.7	5.4	5.8	
		Porcentaje DC	94	90	92	96	99	72	
		Half Duration	2.37	2.07	1.7	4.66	1.26	2.04	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	4.0E+17	-6.9E+17	2.2E+16	-4.3E+17	1.2E+17	-2.2E+16	
		Mtt	-4.0E+17	4.6E+17	-1.8E+17	-8.8E+17	-1.3E+17	-3.8E+17	
		Mpp	-3.0E+14	2.3E+17	1.6E+17	1.3E+18	1.1E+16	4.0E+17	
		Mrt	-1.5E+17	-1.5E+17	2.2E+17	1.1E+19	2.7E+16	-9.8E+16	
		Mrp	5.1E+17	-6.6E+16	-2.3E+17	-9.0E+18	-6.1E+16	2.5E+17	
		Mtp	-8.0E+17	-4.0E+17	2.8E+16	-1.4E+17	3.9E+16	-5.6E+17	
	Plano nodal 1	Rumbo	270	115	230	212	264	286	
		Echado	56	50	28	4	40	75	
		Deslizamiento	156	-106	5	-7	55	169	
	Plano nodal 2	Rumbo	14	319	136	309	126	19	
		Echado	70	43	88	89	58	79	
		Deslizamiento	36	-72	118	-94	116	15	
		Momento escalar	1.0E+18	7.4E+17	3.6E+17	1.4E+19	1.5E+17	7.2E+17	
	GCMT		Half Duration	2.3	2.1	1.7	5.2	1.1	2
			Time-shift	2.4	2.3	2.3	3.8	0.5	2.5
Mw			5.9	5.9	5.7	6.7	5.3	5.8	
Componentes del tensor de momento		Mrr	3.3E+24	-7.2E+24	5.9E+23	-8.0E+24	9.4E+23	-5.1E+23	
		Mtt	-4.2E+24	5.4E+24	-2.3E+24	-1.0E+25	-8.0E+23	-3.8E+24	
		Mpp	9.0E+23	1.8E+24	1.7E+24	1.8E+25	-1.4E+23	4.3E+24	
		Mrt	-2.3E+24	-2.1E+24	2.9E+24	9.2E+25	6.0E+23	-9.6E+23	
		Mrp	3.6E+24	-7.0E+23	-2.4E+24	-7.6E+25	-4.5E+23	2.3E+23	
		Mtp	-8.6E+24	-4.0E+24	3.0E+23	-9.0E+24	2.9E+23	-5.6E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	274	317	231	202	282	18	
		Echado	67	42	26	8	26	82	
		Deslizamiento	157	-69	11	-17	74	-1	
Plano nodal 2		Rumbo	13	109	131	310	121	108	
		Echado	69	52	85	88	65	89	
		Deslizamiento	25	-108	116	-97	98	-172	
		Momento escalar	1.0E+25	7.9E+24	4.3E+24	1.2E+26	1.2E+24	7.0E+24	

		PARÁMETRO						
SSN		Fecha UTC	2019-06-22	2019-08-12	2019-08-14	2019-11-20	2019-12-23	
		Hora UTC	22:31:38	20:39:35	21:35:18	04:27:06	15:47:55	
		Magnitud	5.6	5.5	5.8	6.4	5.8	
		Latitud	14.3878	15.9068	20.4463	13.7792	13.6873	
		Longitud	-93.0508	-93.8033	-109.265	-93.3382	-93.218	
		Profundidad	11.5	99.4	15.3	9.4	1.1	
USGS		Magnitud	5.6	5.5	5.9	6.3	5.8	
		Porcentaje DC	99	90	96	80	86	
		Half Duration	1.63	1.38	2.16	3.55	2.06	
	Componentes del tensor de momento	Mrr	2.4E+17	-1.0E+17	-9.1E+15	2.8E+18	-5.5E+17	
		Mtt	-1.8E+17	-2.1E+16	-6.7E+17	-2.4E+18	4.8E+17	
		Mpp	-5.4E+16	1.2E+17	6.8E+17	-3.4E+17	7.7E+16	
		Mrt	1.4E+17	1.2E+17	2.3E+17	2.2E+19	4.9E+16	
		Mrp	-5.0E+16	-1.0E+17	1.4E+17	5.2E+17	-1.7E+17	
		Mtp	1.0E+17	-3.0E+16	4.5E+17	8.3E+17	-1.8E+17	
	Plano nodal 1	Rumbo	303	194	332	304	304	
		Echado	29	26	72	30	52	
		Deslizamiento	98	-39	179	120	-74	
	Plano nodal 2	Rumbo	114	320	62	91	98	
		Echado	61	74	89	65	41	
		Deslizamiento	86	-111	18	74	-110	
		Momento escalar	2.8E+17	2.0E+17	8.5E+17	3.6E+18	5.8E+17	
	GCMT		Half Duration	1.5	1.4	2	3.5	1.8
			Time-shift	4.2	0.4	3	4.6	2.6
Mw			5.6	5.5	5.8	6.3	5.7	
Componentes del tensor de momento		Mrr	2.7E+24	-1.0E+24	-3.0E+22	3.2E+25	-4.5E+24	
		Mtt	-2.1E+24	-2.7E+23	-5.9E+24	-2.8E+25	3.9E+24	
		Mpp	-6.2E+23	1.3E+24	5.9E+24	-3.5E+24	6.3E+23	
		Mrt	1.4E+24	1.4E+24	-4.5E+23	1.8E+25	1.9E+24	
		Mrp	-1.3E+24	-1.2E+24	2.3E+23	-3.7E+24	3.2E+23	
		Mtp	8.9E+23	-8.4E+23	4.5E+24	9.6E+24	-2.0E+24	
Plano nodal 1		Rumbo	288	187	64	293	128	
		Echado	28	25	87	30	37	
		Deslizamiento	75	-38	-2	96	-69	
Plano nodal 2		Rumbo	124	313	154	105	282	
		Echado	63	75	88	60	56	
		Deslizamiento	98	-110	-177	86	-105	
		Momento escalar	3.2E+24	2.3E+24	7.4E+24	3.6E+25	5.0E+24	