

Sismotectónica en Costa Rica

Boletín mensual



OVSICORI-UNA

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN OBSERVATORIO VULCANOLÓGICO Y SISMOLÓGICO DE COSTA RICA

Universidad Nacional
Campus Omar Dengo

Heredia, Costa Rica

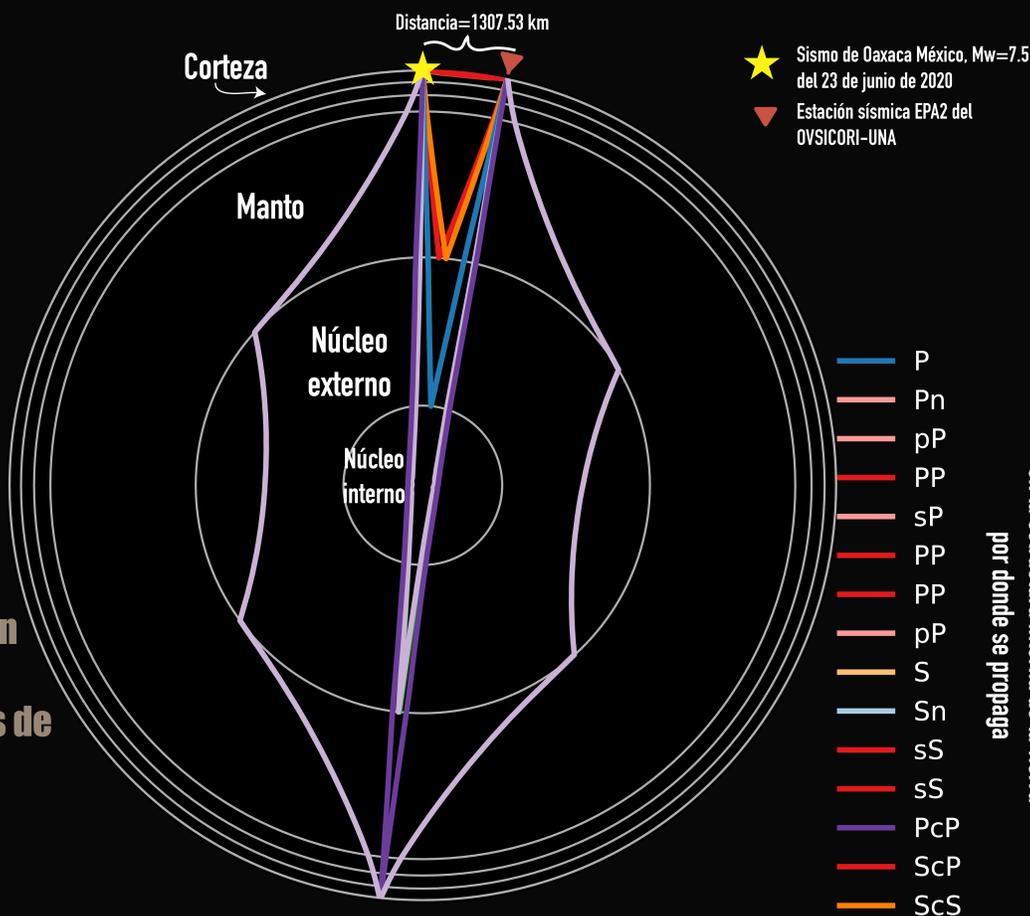


WWW.OVSICORI.UNA.AC.CR

Un total de 1160 sismos fueron generados en el territorio costarricense durante el mes de junio de 2020, de los cuales:

- ▶ 4 sismos tienen magnitud mayor o igual a 4.0
- ▶ 11 sismos fueron reportados como sentidos

Las zonas sísmicamente más productivas del mes son: El Pacífico Central, el Pacífico Sur, la zona de los Santos y San Isidro de Pérez Zeledón.



OVSICORI-UNA

Sismología | Tectónica | Vulcanología

Ciencia para la sociedad

Junio 2020

La actividad sísmica NO se detiene.
El OVSICORI tampoco.



Contenido

I. RESUMEN GENERAL JUNIO 2020.....	1
II. EL TEMBLOR DE LA CRUCECITA, OAXACA MÉXICO DEL 23 DE JUNIO	3
III. INVERSIÓN DEL TENSOR DE MOMENTO SÍSMICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA FUENTE SÍSMICA.....	5
¿QUÉ ES EL TENSOR DE MOMENTO SÍSMICO?	5
CARGA ELÁSTICA Y MODOS DE RUPTURA.....	6
MECANISMOS FOCALES	7
DESCRIPCIÓN DE LA INVERSIÓN DEL TENSOR DE MOMENTO SÍSMICO DEL OVSICORI-UNA.....	10

Figuras

FIGURA 1. HISTOGRAMA MOSTRANDO EL NÚMERO DE SISMOS LOCALIZADOS POR LA RED SISMOGRÁFICA DEL OVSICORI-UNA EN FUNCIÓN DEL DÍA DEL MES DE JUNIO DE 2020. EL COLOR DE LAS BARRAS INDICA EL RANGO DE MAGNITUD DE LOS EVENTOS, DE ACUERDO CON LA LEYENDA UBICADA EN EL MARGEN SUPERIOR DERECHO. CON FLECHAS SE INDICA LOS DÍAS DEL MES CON MAYOR (16 DE JUNIO) Y MENOR (29 DE JUNIO) NÚMERO DE TEMBLORES.....	2
FIGURA 2. MAPA CON LA DISTRIBUCIÓN HIPOCENTRAL DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA GENERADA EN COSTA RICA DURANTE LE MES DE JUNIO DE 2020. EN EL MAPA, CADA CIRCULO REPRESENTA UN SISMO, CUYO TAMAÑO Y COLOR INDICAN SU MAGNITUD Y PROFUNDIDAD, RESPECTIVAMENTE. SE INCLUYE EL MECANISMO FOCAL DE LOS DOS SISMOS DE MAYOR MAGNITUD GENERADOS DURANTE DE ESTE MES. LAS REGIONES ENCERRADAS EN RECUADROS DESTACAN COMO LAS ZONAS SÍSMICAMENTE MÁS PRODUCTIVAS DEL MES.	3
FIGURA 3. CAMINO SEGUIDO POR LAS ONDAS SÍSMICAS DESDE LA FUENTE HASTA LA ESTACIÓN SÍSMICA EPA2, UBICADA EN ESPARZA, PUNTARENAS. SE MUESTRA ADEMÁS LAS DIFERENTES TRAYECTORIAS Y FASES DE REFLEXIÓN EN LA ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA.	4
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN MATEMÁTICA DEL TENSOR DE MOMENTO SÍSMICO, FORMADO POR NUEVE PARES DE FUERZAS QUE ACTÚAN EN DIRECCIONES OPUESTAS (ORTOGONALES), DE ACUERDO CON LA GEOMETRÍA DE LA FALLA CAUSANTE DE UN SISMO.....	6
FIGURA 5. MODELO DE BLOQUE SIENDO CARGADO ELÁSTICAMENTE POR UNA FUERZA F.	6
FIGURA 6. MODOS FUNDAMENTALES DE RUPTURA QUE PUEDEN SER GENERADOS POR UN TERREMOTO.	6
FIGURA 7. EJEMPLO DE TENSOR DE MOMENTO SÍSMICO, TAMBIÉN CONOCIDO COMO MECANISMO FOCAL O "BOLA DE PLAYA"	7
FIGURA 8. REPRESENTACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE MECANISMOS FOCALES. EN CADA MECANISMO, LOS LÓBULOS EN COLOR GRIS REPRESENTAN AQUELLAS REGIONES SUJETAS A FUERZAS EXTENSIVAS, MIENTRAS QUE LOS LÓBULOS EN BLANCO SON LAS REGIONES QUE EXPERIMENTAN FUERZAS COMPRESIVAS CON LA OCURRENCIA DEL SISMO.....	8
FIGURA 9. SOLUCIÓN DEL TENSOR DE MOMENTO SÍSMICO PARA EL SISMO DE MAGNITUD Mw 3.62 OCURRIDO EL 19 DE JUNIO FRENTE A JACÓ DE PUNTARENAS.	9



I. Resumen general junio 2020

Un total de 1160 sismos con magnitudes locales, M_L , entre -1.0 y 4.34, fueron localizados por la red sismográfica del OVSICORI-UNA a lo largo del territorio costarricense durante el mes junio, convirtiéndose en el mes sísmicamente más activo del primer semestre del 2020. De estos, 11 fueron reportados como sentidos al Observatorio a través de sus redes sociales: Facebook y Twitter. El listado completo, donde se incluye la ubicación, el tiempo de origen, la magnitud y la profundidad de estos eventos, puede ser accesado de manera gratuita por medio de la página web del OVSICORI-UNA: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/index.php/sismos-sentidos>.

El día sísmicamente más activo del mes fue el 15, con un total de 73 sismos, mientras que el día menos activo fue el 29, con tan sólo 20 eventos (Figura 1). Se localizaron un total de 4 temblores con magnitudes locales mayores o iguales a 4.0, de los cuales, 2 tuvieron origen frente a la costa Pacífica Nicaragüense. El sismo de mayor magnitud, $M_L=4.34$, ocurrido en Costa Rica, se generó el 3 de junio a las 11:39:54, hora local, a una profundidad de 50 km y ubicado ~90 km hacia el Noroeste de Playa Flamingo de Guanacaste, en el interior de la placa del Coco debido a la contorsión de esta en su proceso de subducción por debajo de la Placa del Caribe.

El mecanismo focal (que describe la geometría de ruptura o estilo de fallamiento de la fuente sísmica) generado mediante la inversión completa de formas de onda (sismogramas) para los dos temblores con $M_L \geq 4.0$, ocurridos en territorio nacional, se presentan en la figura 2. Con el propósito de familiarizar y educar a la población nacional en la comprensión de los procesos sismotectónicos que ocurren en el país, más adelante en este informe se presenta una sección donde se describe, de manera general, el significado e importancia de un mecanismo focal y el método de inversión utilizado en el OVSICORI-UNA para la obtención de este tipo de resultados.

Las regiones sísmicamente más productivas durante el mes de junio son el *Pacífico Central*, a la entrada del Golfo de Nicoya (recuadro Amarillo en la Figura 2), el *Pacífico Sur*, frente a Uvita de Puntarenas (recuadro morado), *La zona de los Santos* (San Marcos de Tarruzú) y hacia el Suroeste de la *provincia de Cartago*, así como también la región de *San Isidro Pérez Zeledón* (recuadro color naranja) (Figura 2).

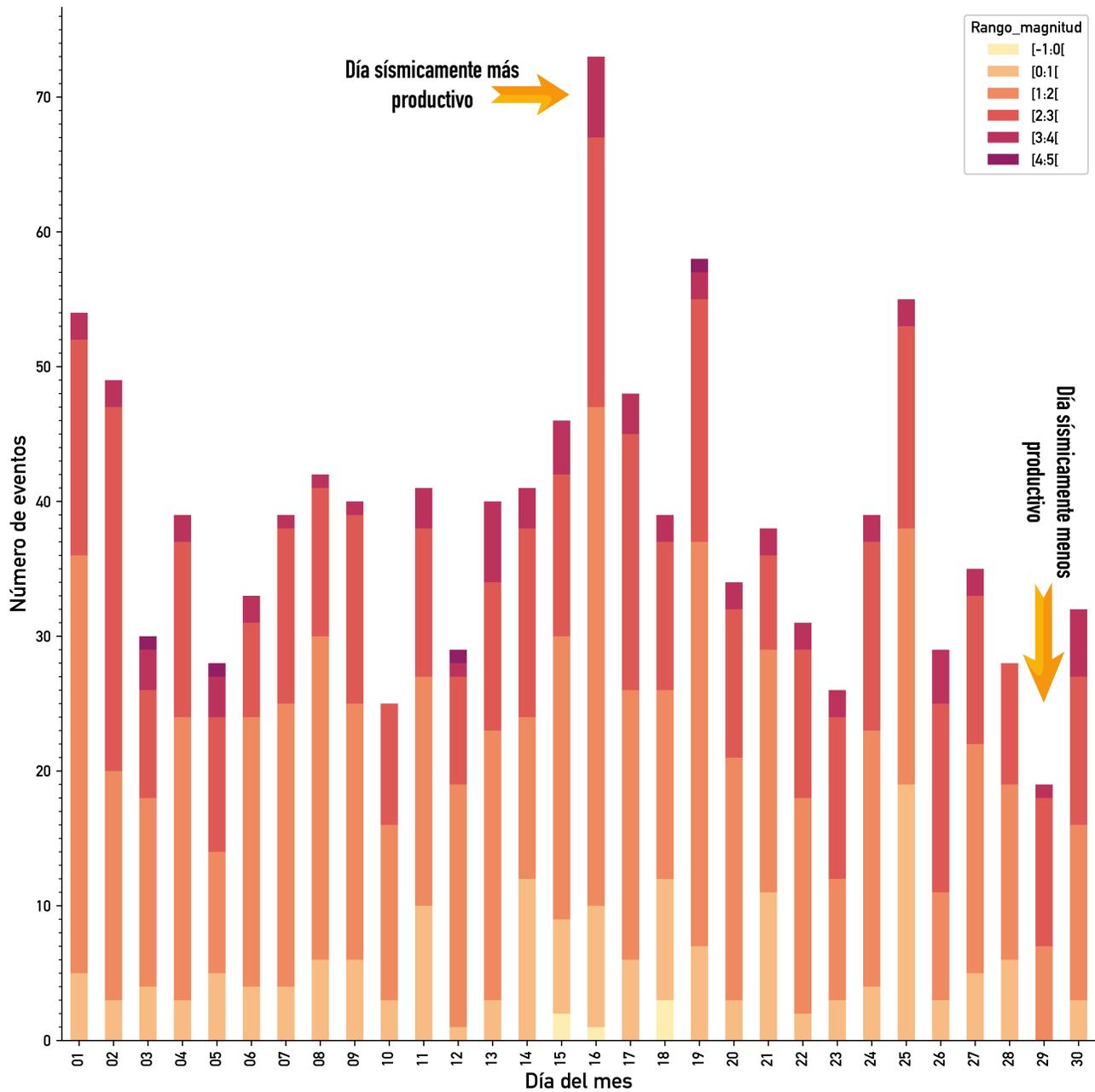


Figura 1. Histograma mostrando el número de sismos localizados por la red sismográfica del OVSICORI-UNA en función del día del mes de junio de 2020. El color de las barras indica el rango de magnitud de los eventos, de acuerdo con la leyenda ubicada en el margen superior derecho. Con flechas se indica los días del mes con mayor (16 de junio) y menor (29 de junio) número de temblores.

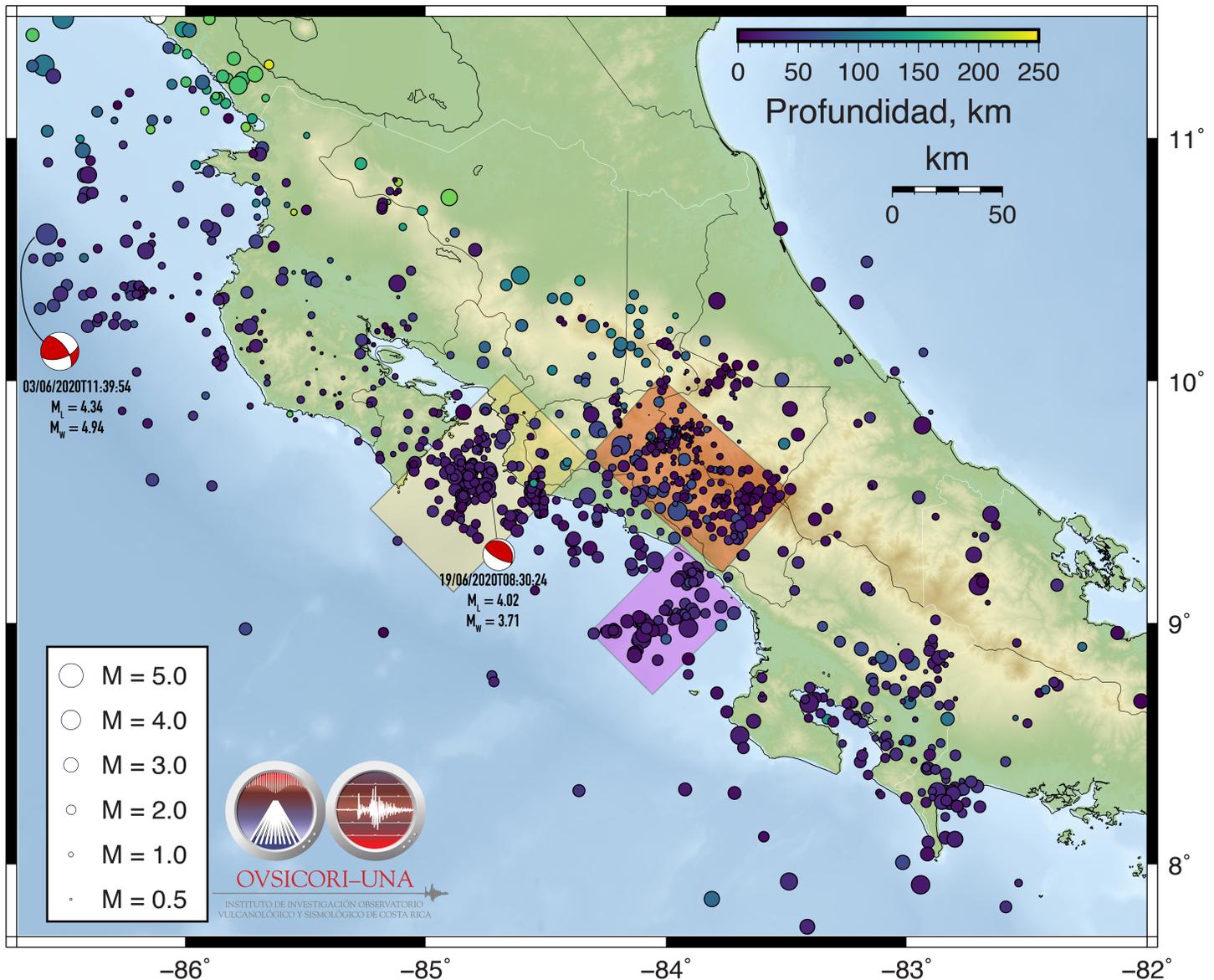


Figura 2. Mapa con la distribución hipocentral de la actividad sísmica generada en Costa Rica durante le mes de junio de 2020. En el Mapa, cada círculo representa un sismo, cuyo tamaño y color indican su magnitud y profundidad, respectivamente. Se incluye el mecanismo focal de los dos sismos de mayor magnitud generados durante de este mes. Las regiones encerradas en recuadros destacan como las zonas sísmicamente más productivas del mes.

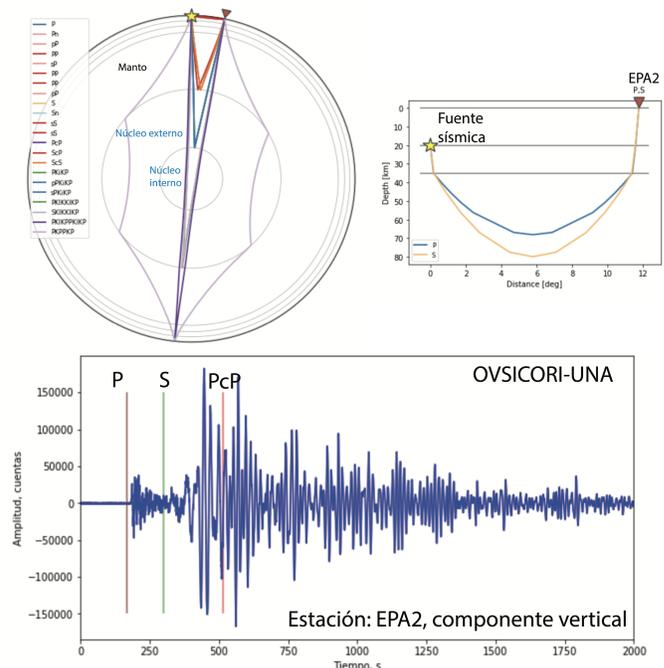
II. El temblor de la Crucecita, Oaxaca México del 23 de junio

A las 9:29:02 (hora local de Costa Rica, 10:29 hora del estado de México) del día 23 de junio de 2020, un temblor con magnitud momento sísmico, M_w , de 7.5 ocurrió en la costa Pacífica mexicana, específicamente, 22 km al Sureste de Crucecita en el estado de Oaxaca y tuvo una profundidad de 20 km, de acuerdo con el Servicio Sismológico Nacional de la Universidad Autónoma de México. Este temblor ocurrió a lo largo de la interfaz entre la placa del Coco y la placa norteamericana, debido al proceso natural de subducción a lo largo de toda la costa pacífica. Modelos preliminares de

transferencia de esfuerzos estáticos muestran que existe una alta probabilidad de que este terremoto, con magnitud 7.5, haya sido inducido por la ocurrencia del terremoto de Tehuantepec, Mw=8.2, ocurrido el 8 de setiembre del 2017 (<https://temblor.net/earthquake-insights/oaxaca-shaken-by-m-7-4-quake-11189/>). Similarmente, modelos preliminares del deslizamiento generado a lo largo de la zona de falla en conjunto con el registro de los mareógrafos a lo largo de la costa mexicana, permitieron evidenciar un incremento máximo de 70 cm por encima de los niveles normales del nivel del mar en Acapulco y Salina Cruz, así como una clara generación de ondas de borde y reverberaciones en el golfo de Tehuantepec, tal y como lo muestran investigadores de la Universidad de Oregon (<https://disasters.nasa.gov/mexico-earthquake-june-2020>).

Este terremoto fue registrado por las redes sismológicas de todo el Mundo, incluyendo la red sismográfica de banda ancha del OVSICORI-UNA. La figura 3 muestra el camino y seguido por las ondas sísmicas desde la fuente hasta la estación sísmica EPA2 (ubicada a una distancia aproximada de 1307 km desde el epicentro), en Esparza, Puntarenas. Se muestra además las diferentes trayectorias y fases de reflexión en la estructura interna de la Tierra. A nuestro país llega principalmente la energía de largo periodo, pues al tener una longitud de onda más grande con respecto a la radiación sísmica de alta frecuencia, es menos susceptible a la de atenuación impuesta por las diferentes estructuras internas de la Tierra y principalmente de la corteza superior.

Figura 3. Camino seguido por las ondas sísmicas desde la fuente hasta la estación sísmica EPA2, ubicada en Esparza, Puntarenas. Se muestra además las diferentes trayectorias y fases de reflexión en la estructura interna de la Tierra.



III. Inversión del tensor de momento sísmico para la determinación de la fuente sísmica

Además de describir el origen de un terremoto, en función de su ubicación espacio-temporal, esto es, latitud, longitud, profundidad (hipocentro) y tiempo de origen, recientemente el OVSICORI-UNA ha estado implementando un método de inversión de formas de onda (sismogramas) que le permite determinar el **tensor de momento sísmico de un temblor** con el propósito de obtener una caracterización más robusta del tamaño y geometría de ruptura de la fuente sísmica, permitiendo entender no sólo donde ocurrió un terremoto, sino también, el tipo de fallamiento donde es generado. El tensor de momento sísmico es una observación de primer orden que le permite al sismólogo hacer una evaluación del potencial y riesgo sísmico y de tsunami en una región, además, permite cuantificar el estado de estrés sismo-tectónico a escalas tanto locales como regionales.

Con el propósito de familiarizar y educar a la población en la comprensión de los procesos sismo-tectónicos que ocurren en el país, a continuación, se brinda una explicación generalizada de este método, así como una descripción de las figuras compartidas por medio de boletines o redes sociales del OVSICORI-UNA que incluyen resultados relativos al tensor de momento sísmico de un evento particular.

¿Qué es el tensor de momento sísmico?

El tensor de momento sísmico es una representación matemática de una falla durante un temblor, compuesto por nueve pares o conjuntos de fuerzas (cantidades vectoriales ortogonales) (Figura 4). El tensor depende de los esfuerzos liberados por la fuente sísmica, así como también de la orientación y geometría de la falla causante y generalmente se representa utilizando una "bola de playa" o mecanismo focal, que describe el patrón de radiación sísmico y la solución del plano de falla.

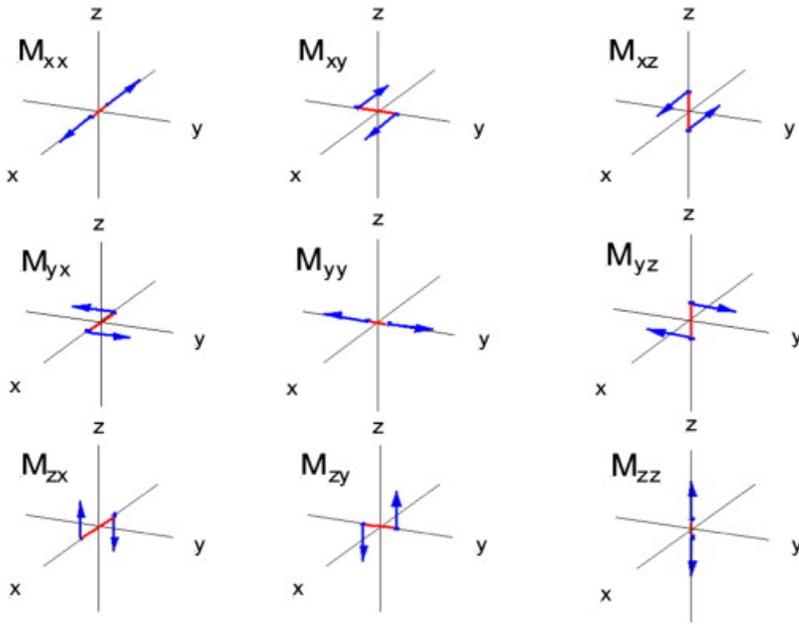


Figura 4. Representación matemática del tensor de momento sísmico, formado por nueve pares de fuerzas que actúan en direcciones opuestas (ortogonales), de acuerdo con la geometría de la falla causante de un sismo.

Carga elástica y modos de ruptura

Si se considera un objeto, como el bloque de la figura 5, este puede ser cargado elásticamente por un sistema de fuerzas F en 3 modos fundamentales, que pueden generar la ruptura del objeto relativa a la zona de falla (o discontinuidad en la roca), por ejemplo, modo I) de apertura o de cierre, modo II) de corte y modo III) de desgarro (Figura 6).

Sistema de fuerzas (F)

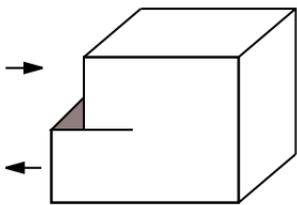


Figura 5. Modelo de bloque siendo cargado elásticamente por una fuerza F .

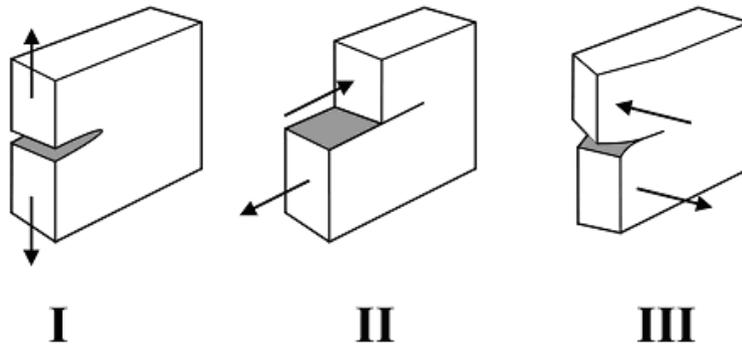


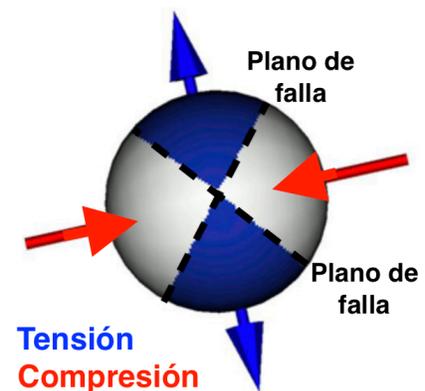
Figura 6. Modos fundamentales de ruptura que pueden ser generados por un terremoto.

Cuando ocurre un sismo, la roca generalmente experimenta el modo de ruptura tipo II) o III) o bien, una combinación de ambos.

Si se ha producido una explosión o ensayo nuclear, y existe un cambio volumétrico en la roca, el modo de ruptura generado es de tipo I) o una combinación de los 3. El tensor de momento sísmico permite caracterizar, además del tamaño del sismo, dado por la magnitud momento sísmico (M_w), el modo de ruptura ya sea de tipo o una combinación de I), II) y III).

Ha diferencia de métodos tradicionales, el tensor de momento sísmico brinda la posibilidad de conocer el modo de ruptura del temblor y esto se cuantifica calculando el porcentaje generado por el deslizamiento de corte (DC, double couple), por el cambio volumétrico (ISO, Isotropic) o bien por desgarro o una combinación de los 3 modos (CLVD, Compensated Linear Vector Dipole) en la falla. El sistema de fuerzas que actúa relativo a la geometría u orientación de la falla causante (Figura 3) se representa utilizando un mecanismo focal o "bola de playa", el cual es una representación en dos dimensiones de la esfera focal, que se centra en el hipocentro del terremoto.

Figura 7. Ejemplo de Tensor de momento sísmico, también conocido como mecanismo focal o "bola de playa".



Mecanismos focales

Tal y como se muestra en la figura 7, con la ocurrencia de un sismo, las fuerzas ejercidas por la fuente sísmica en la esfera focal se distribuyen de tal forma que existen regiones sujetas a compresión o dilatación alrededor del plano de falla. En el ejemplo anterior, las regiones de color azul representan las zonas de compresión relativas a la orientación del plano de falla y en color blanco (con flechas rojas) se muestra las regiones que experimentan dilatación (fuerzas extensivas), relativas también a la orientación del plano de falla.

El plano de falla (líneas negras punteadas en la figura 6) representa la dirección del deslizamiento generado en la falla por la ocurrencia de un

sismo y existen dos posibles soluciones. El sismólogo generalmente se encarga de seleccionar el plano correcto de falla haciendo uso de otros métodos u observaciones independientes.

La geometría de los planos de falla, así como la distribución de las regiones de compresión y extensión en el mecanismo focal, dependen del tipo de fallamiento, y es posible mencionar brevemente 5 tipos principales, muy comunes en regímenes tectónicos como el de Costa Rica:

- Fallamiento inverso
- Fallamiento inverso de bajo o alto ángulo
- Fallamiento normal
- Fallamiento de tipo corrimiento de rumbo
- Fallamiento oblicuo.

La figura 8 muestra la representación del mecanismo focal para varias de las geometrías de falla mencionadas anteriormente.

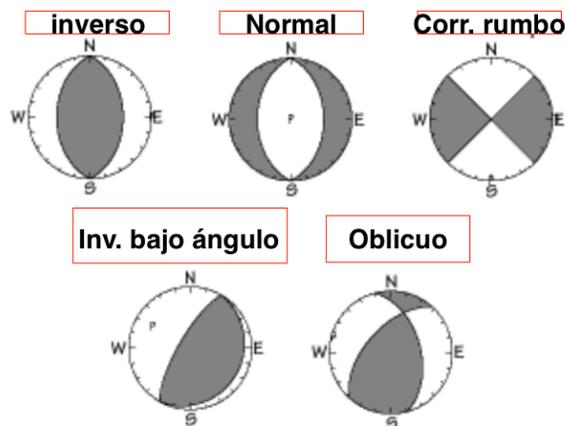
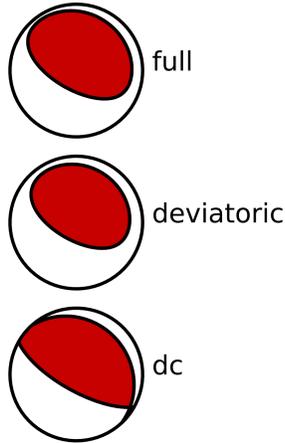


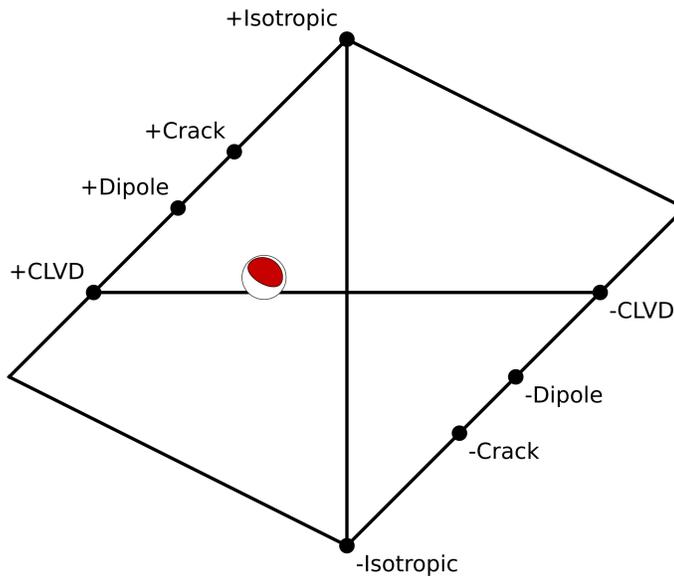
Figura 8. Representación de diferentes tipos de mecanismos focales. En cada mecanismo, los lóbulos en color gris representan aquellas regiones sujetas a fuerzas extensivas, mientras que los lóbulos en blanco son las regiones que experimentan fuerzas compresivas con la ocurrencia del sismo.

14.11 km hacia el SurOeste de Jacó de Puntarenas
 Día y hora: 2020-06-19T02:30:24.000000Z UTC.
 © OVSICORI-UNA

Moment tensor



Prof. centroide = 15.0 km
 Reducción de Varianza (VR) = 69.32 %
 MT decomposition type = ISO + CLVD + DC
 st1, dp1, rk1= 119.0, 70.0, 84.0
 st2, dp2, rk2= 317.0, 21.0, 106.0
 $M_{zz} = 2.395e+21$
 $M_{xx} = -9.301e+20$
 $M_{yy} = -8.389e+20$
 $M_{xz} = 2.111e+21$
 $M_{yz} = 9.661e+20$
 $M_{xy} = -5.915e+20$
 % DC, % CLVD, % ISO = 61, 44, 5
 $M_o = 3.06e+14$ Nm
 $M_w = 3.62$
 $R_{radio} = 0.68$ km, $R_{Área} = 1.45$ km²
 $\bar{D} = 0.705$ cm



Cobertura azimutal

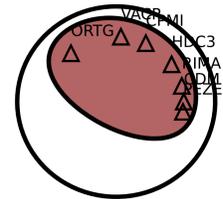


Figura 9. Solución del tensor de momento sísmico para el sismo de magnitud M_w 3.62 ocurrido el 19 de junio frente a Jacó de Puntarenas.

Descripción de la inversión del tensor de momento sísmico del OVSICORI-UNA

Una solución típica, del tensor de momento sísmico generada por el OVSICORI-UNA se muestra en la figura 8. Esta es la solución generada para un sismo de magnitud $M_w = 3.62$, ocurrido el 19 de junio de 2020 a las 02:30:24 UTC. Este sismo se ubicó 14.11 km hacia el Suroeste de Jacó de Puntarenas. En la figura se puede observar la composición o clasificación del mecanismo focal del evento, de acuerdo con los modos de ruptura analizados para la fuente sísmica y denominados *full*, *deviatoric* y *dc*, respectivamente.

La composición *full* corresponde con el promedio del deslizamiento completo, incluyendo el deslizamiento de corte, los cambios volumétricos y el rasgado en la falla, si los hubiere. En otras palabras, representa la contribución de los modos de ruptura tipo I), II) y III) que se generaron con la ocurrencia del sismo, y, por lo tanto, dicha contribución podría observarse los porcentajes respectivos de las componentes ISO, DC y CLVD.

La composición *deviatoric* representa el comportamiento de la falla durante el sismo, sin incluir cambios volumétricos, en donde la componente ISO fue forzada a ser cero. De modo que, la ruptura en la fuente puede tener la contribución de los modos de ruptura tipo II) y III) y esto podría observarse los porcentajes respectivos de las componentes DC y CLVD, únicamente. La composición *dc* corresponde con una solución en donde el modo de ruptura es puramente de tipo II) – deslizamiento de corte –, por lo que los porcentajes de ISO y CLVD son iguales a cero.

Las regiones compresivas en el mecanismo focal están representadas por los lóbulos en color rojo, mientras que las regiones de tensión o extensivas, se muestran en color blanco. En el ejemplo mostrado en la figura 9, el mecanismo focal tiene una geometría de tipo inversa y corresponde con un sismo que ocurrió a lo largo de la interfaz, donde la placa del Coco se subduce por debajo de la microplaca de Panamá (Figura 2), en un sistema de fuerzas compresivo. Los valores M_0 , R_{radio} , $R_{\text{Área}}$, y \bar{D} corresponden con el momento sísmico, el radio de ruptura, el área de ruptura y el deslizamiento promedio en la falla, respectivamente.